



Verziltling, klimaatverandering en de Kaderrichtlijn Water

Casestudie het boezemstelsel van Schieland



Copyright © 2012

Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (KvK). Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, in geautomatiseerde bestanden opgeslagen en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat. In overeenstemming met artikel 15a van het Nederlandse auteursrecht is het toegestaan delen van deze publicatie te citeren, daarbij gebruik makend van een duidelijke referentie naar deze publicatie.

Aansprakelijkheid

Hoewel uiterste zorg is besteed aan de inhoud van deze publicatie aanvaarden de Stichting Kennis voor Klimaat, de leden van deze organisatie, de auteurs van deze publicatie en hun organisaties, noch de samenstellers enige aansprakelijkheid voor onvolledigheid, onjuistheid of de gevolgen daarvan. Gebruik van de inhoud van deze publicatie is voor de verantwoordelijkheid van de gebruiker.



Auteurs
J.A. Veraart⁽¹⁾
L.P.A. van Gerven⁽²⁾



⁽¹⁾ Alterra, (Wageningen UR), Earth System Science and Climate Change group

⁽²⁾ Alterra, (Wageningen UR), Integraal Waterbeheer

Dit rapport is een resultaat uit het onderzoeksproject (KvK Thema 2 Zoetwatervoorziening en waterkwaliteit) wordt uitgevoerd in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (www.kennisvoorklimaat.nl). Dit onderzoeksprogramma wordt medegefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Het project maakt tevens onderdeel uit van Kennisbasis – thema IV Duurzame ontwikkeling van de Groenblauwe ruimte (www.kennisonline.wur.nl, projectcode KB-14-001-003), gefinancierd door het ministerie van Economie, Landbouw en Innovatie. Aanvullende financiering is gerealiseerd door de gemeente Rotterdam, STOWA, provincie Zuid-Holland en het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard.



Inhoudsopgave

Voorwoord	7
Samenvatting	8
1 Inleiding	14
1.1 Context.....	14
1.2 Doelstelling	15
2 De aanpak van het onderzoek	16
2.1 Berekenen chlorideconcentratie bij de inlaat	18
2.2 Berekenen chlorideconcentratie in boezemsysteem	18
2.3 Scenario's voor waterbeheer.....	21
2.4 Evaluatie van de effecten voor de aquatische ecologie	21
2.5 Gebruikte definities voor zoet, zout, brak en verziltling	26
3 Beschrijving van het onderzoeksgebied	29
3.1 Systeembeschrijving	29
3.1.1 De hydrologie en het waterbeheer	29
3.1.2 Chloride in de boezem: de karakteristieken van 2003 en 2006	31
3.1.3 Kaderrichtlijn Water, Ecologie en chloride.....	32
3.1.4 De economische functies en landgebruik	37
4 Het SOBEK model van het boezemstels van Schieland	38
4.1 Schematisering.....	38
4.2 Hydrologische randvoorwaarden en chloride	39
4.3 Kalibratie.....	41
5 Verziltingsscenario's voor klimaatverandering en waterbeheer.....	47
5.1 Hydrologische randvoorwaarden en chloride	48
5.2 Toekomstige verziltling in het boezemsysteem	50
6 De betekenis van de scenario's voor de ecologische KRW doelen.....	53
6.1 Chloridepiekbelasting en kaderrichtlijn Water	53
6.2 Kennis over zouttoleranties uit de literatuur	56
6.3 De zouttolerantie van de geselecteerde soorten.	58
6.3.1 Vis	59
6.3.2 Waterplanten	61
6.3.3 Macrofauna	65
7 Conclusies	67
8 Aanbevelingen	70
9 Literatuur	73
Bijlage A.....	79



Voorwoord

Dit rapport beschrijft de resultaten van een studie die is uitgevoerd in het kader van het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat (KvK) binnen het thema zoetwatervoorziening. De financiering is gerealiseerd via diverse bronnen. In dit specifieke project gaat bijzondere dank uit naar het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, de provincie Zuid-Holland, STOWA, het ministerie van Economie, Landbouw en Innovatie en de stichting Kennis voor Klimaat.

7

We hopen in het vervolgonderzoek binnen Kennis voor Klimaat veel van de opgedane kennis te kunnen gebruiken in andere deelgebieden in en rondom de Groene Ruggengraat. Dat zijn immers ook gebieden waar dilemma's spelen in de zoetwatervoorziening vanuit verschillende ruimtelijke functies, in het bijzonder landbouw en natuur.

Het onderzoek is uitgevoerd door Jeroen Veraart en Luuk van Gerven, met in de beginfase ook ondersteuning van Wieneke Huijben, een stagiaire van Wageningen Universiteit. Het modellerwerk met het regionale SOBEK model is gedaan door Luuk van Gerven. Dit is gerealiseerd in nauwe samenwerking met Deltares om de koppeling met het deltamodel-instrumentarium te realiseren, via werkpakket 2 binnen KvK thema Zoetwatervoorziening. Jeroen Veraart was verantwoordelijk voor de projectleiding en heeft het literatuuronderzoek gedaan naar de effecten van verzilting voor de aquatische ecologie. Het concept rapport is collegiaal getoetst binnen het Kennis voor Klimaat consortium door Ad Jeuken (Deltares), Wim Twisk (HHSK), Jack Hemelraad (HHSK), Michiel Lips (HHSK) en Rob Ruijtenberg (STOWA).

Bijzondere dank gaat uit naar de betrokkenen bij het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard. Diverse malen zijn wij zeer gastvrij bij het waterschap ontvangen, we hebben inspirerende discussies gevoerd en het waterschap heeft meetdata voor het onderzoek ter beschikking gesteld.

Wageningen, maart 2012

Jeroen Veraart

Luuk van Gerven

Samenvatting

Context

Klimaatverandering, zeespiegelstijging, autonome verzilting en de toenemende watervraag maken de zoetwatervoorziening in Nederland in de toekomst complexer, ondanks dat er, onder normale omstandigheden, zoet water in overvloed is. De kans op extremere perioden van droogte neemt toe en daarmee ook de risico's op zout- en droogteschade voor landbouw, natuur en drinkwatervoorziening. Het wordt daarmee steeds moeilijker om de juiste hoeveelheid zoetwater met de gewenste chlorideconcentratie op de juiste tijd en plaats beschikbaar te hebben.

Vraagstelling

De huidige beslisregels over wateraanvoer naar verschillende regio's worden in het delta-programma geëvalueerd op hun klimaatbestendigheid. Ook het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK) brengt haar zoetwateropgave momenteel in beeld in het kader van het deltaprogramma. HHSK heeft zich de vraag gesteld wat de effecten voor de aquatische ecologie zijn van snel afwisselende externe verzilting en verzoeting in het watersysteem in en rondom het boezemstelsel van Schieland binnen 1 groeiseizoen/zomerseizoen. De volgende deelvragen zijn geformuleerd, rekening houdend met verschillende klimaat- en waterbeheersscenario's:

- ▽ Hoe neemt de externe verzilting toe bij de verschillende inlaatpunten van het boezemsysteem bij verschillende klimaatscenario's voor een droog jaar (referentiejaar 2003)?
- ▽ Hoe werken deze veranderingen in zoutdynamiek in het hoofdwatersysteem door in het regionale watersysteem in tijd en ruimte?
- ▽ Is een verruiming van de chloridenormering (>200 mg/l) voor inlaat bij de verschillende inlaatpunten een kansrijke klimaatadaptatiestrategie?
- ▽ Wat betekent een snel afwisselende piekbelasting met chloride (verzoeting, verzilting) voor het bereiken van de Kaderrichtlijn Water doelen (aquatische ecologie) van dit boezemsysteem, aanliggende polders en waterlichamen?

Aanpak

De toekomstige externe verzilting van het oppervlaktewater in de Schieland polder is geschat op basis van **(a)** toekomstige chloridegehalten van het in te laten rivierwater en **(b)** toekomstige waterbehoefte en waterbeweging in de Schieland polder. Dit is bepaald voor de klimaatscenario's G en W⁺ van het KNMI¹ (zichtjaar 2050) met het jaar 2003 als referentiejaar. Het jaar 2003 is gekozen omdat het een droog jaar was waarin veel rivierwater de Schieland polder is ingelaten. Een droog jaar zoals 2003 komt in het huidige klimaat gemiddeld eens in de 10 jaar voor, bij het G scenario zal dit eens in de 8 jaar zijn, bij het W⁺ scenario eens in de 2 jaar.

De chloridegehalten (tijdreeksen) van het in te laten rivierwater bij de innamelocaties Schilthuis (Nieuwe Maas) en Snelle sluis (Hollandse IJssel) zijn door Deltares berekend met het SOBEM-NDB1_1_0 model voor het referentie jaar 2003 (huidige klimaat, het W⁺ en het G scenario van het KNMI). De berekende chloridegehalten voor het referentiejaar 2003 zijn

¹ Het KNMI heeft in 2006 (Van den Hurk, et al., 2006) vier klimaatscenario's opgesteld. Het W⁺ scenario is het scenario met de meeste klimaatverandering en het G scenario betreft een gematigde klimaatverandering.



vergeleken met real-time meetgegevens uit dat jaar van bij de Lekhaven en de van Brienenoordbrug in de Nieuwe waterweg/Nieuwe Maas.

De waterbehoefte en waterbeweging in de Schieland polder, en de resulterende chloridegehalten in het boezemstelsel (Rotte boezem, Rotte meren en Ringvaart), zijn berekend met een voor deze studie ontworpen SOBEK model (SOBEK versie 2.09.003). De ligging en afmetingen van het boezemstelsel is overgenomen uit een bestaand SOBEK model van het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard. Alvorens de klimaatscenario's aan het model op te leggen is het model gekalibreerd voor het referentiejaar 2003.

Naast de klimaatscenario's zijn er ook waterbeheersscenario's doorgerekend door de chloride inlaatnorm bij de 2 belangrijkste inlaatpunten te variëren. Er is gewerkt met een inlaatnorm van 200 mg/l (huidige inlaatbeleid) en 600 mg/l. Deze 2 waterbeheersscenario's leveren, in combinatie met de 2 doorgerekende klimaat-scenario's (G en W⁺), een matrix op van 4 scenario's die zijn doorgerekend.

De evaluatie voor de effecten voor de aquatische ecologie is gedaan aan de hand van een piekbelasting met chloride (inlaat van lichtbrak water) in het regionale watersysteem, zoals dit gebeurd is in de zomer van 2003. Dit verziltingsrisico is afgewogen tegen andere externe factoren die van invloed zijn op de KRW doelen in het beheersgebied. Daarnaast is voor een aantal soorten literatuuronderzoek gedaan naar de zout/chloride tolerantie en zijn er chloride responsie tabellen (CL₁₀, CL₂₅, CL₅₀, CL₉₀) opgesteld op basis van geregistreerde waarnemingen in de Limnodatabase van STOWA. De geselecteerde soorten betroffen Rivierdonderpad (*Cottus gobio*, *Cottus perifretum*), Zeelt (*Tinca tinca*), Kleine Modderkruiper (*Cobitis taenia*), Winde (*Leuciscus idus*), Snoek (*Esox lucius*), Plat fonteinkruik (*Potamogeton compressus*), glanzend fonteinkruik (*Potamogeton lucens*), Zwanenbloem (*Butomus umbellatus*), Gewoon Kransblad (*Chara vulgaris*), Puntdragend Glanswier (*Nitella mucronata*), Krabben-scheer (*Stratoides aloides*), een watermijt (*Oxus ovalis*), een snuitkever (*Eubrichus velutus*), een kokerjuffer (*Ceraclea senilis*) en de Platte schijfhoren (*Anisus vorticulus*).

De selectie van soorten is gemaakt door expertoordeel op basis van beschikbare soortenlijsten. Het gaat om soorten waarvan bekend is dat ze in meer of mindere mate gevoelig zijn voor zout. Voorts zijn er soorten uit verschillende componenten uit het aquatisch ecosysteem (vis, waterplanten, macro-invertebraten) geselecteerd. Per component van het aquatisch ecosysteem is eerst een algemene schets gegeven over de gevoeligheid voor verziltling. Voor Zoöplankton en fytoplankton is alleen een algemene schets gemaakt. De selectie betreft zowel zeldzame soorten als veelvoorkomende (structuurbepalende) soorten. Er zijn ook enkele afwezige soorten (natuurdoeltypen uit de EU Habitat richtlijn) meegenomen waarvan te verwachten is dat ze terugkeren bij een verbeterde waterkwaliteit in het boezemstelsel van Schieland. Dit zijn soorten die vaak ook te vinden zijn in omliggende watersystemen die deel uitmaken van de Groene Ruggengraat.

Conclusies

Kalibratie en evaluatie van het regionale SOBEK model

Het SOBEK model voor de Schieland boezem is gekalibreerd en geëvalueerd voor het jaar 2003 op basis van metingen van ingelaten en uitgelaten debieten op polder- en boezemniveau. De ingelaten hoeveelheid water kon niet worden afgeleid uit gemeten chlorideconcentraties in het boezemwater gegeven de beperkte resolutie in ruimte en tijd van de metingen.

- ▽ Gegeven deze missende data is via een stapsgewijze aanpak, in dialoog met de waterbeheerder, een schatting gemaakt wat de waterbehoefte is van de polders in Schieland met hulp van de wel beschikbare data (polderuitslag en inlaat bij Bergsluis). Het delta instrumentarium ingezet bij de berekening van de externe verziltling bij de inlaatpunten en het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) is gebruikt voor de inschatting van kwel, inzijing, doorspoeling en infiltratie.
- ▽ Op basis van de meetgegevens en de dialoog met de waterbeheerder zijn handmatige correcties toegepast in de berekeningen van het NHI (doorspoeling, infiltratie). Op deze manier zijn de inzichten vergroot over de betrouwbaarheid van zowel

meetnetwerken, metingen en modellen van de betrokken kennisinstellingen en de regionale waterbeheerder (joined-fact-finding). Op deze manier kunnen ook in samenspraak verbeterpunten worden vastgesteld. Enkele voorbeelden van verbeterpunten:

- Er zijn verschillen tussen de gemodelleerde chloride maxima ten opzichte van de gemeten chlorideconcentraties bij Schiltsluis. Voor de doelen van deze studie zijn de onzekerheden in de absolute getallen voor de chloride maxima minder relevant, het gaat om de duur van de inlaatstop, c.q. de tijd dat de chlorideconcentraties hoger zijn dan 200 mg/l chloride.
- Veranderingen in interne verzilting door klimaatverandering is niet meegenomen omdat interne verzilting in dit gebied van relatief klein belang is (expertoordeel HHSK). Het is technisch mogelijk om dit wel te modelleren (expertoordeel Deltares).

Toekomstige verzilting van het in te laten rivierwater

- ▽ De chloridegehalten voor het referentie jaar 2003 (januari tot en met december) bij de innamepunten in de Nieuwe Waterweg (mr. U.G. Schilthuis) en in de Hollandse IJssel (Snelle Sluis) nemen bij het G-scenario van het KNMI nauwelijks toe ten opzichte van de gemodelleerde chloridegehalten in het huidige klimaat (referentiejaar 2003). Bij deze inlaatpunten worden er incidentele chloride maxima gemodelleerd die liggen rond de 5000 mg/l (mr U.G. Schiltsluis) en 500 mg/l (Snelle Sluis) voor zowel het huidige klimaat als voor het G scenario.
- ▽ Onder het KNMI W⁺ scenario nemen de chloridegehalten voor het referentie jaar 2003 bij deze twee innamepunten sterk toe ten opzichte van de gemodelleerde chloridegehalten voor 2003 bij het huidige klimaat. Bij deze inlaatpunten worden er incidentele chloride maxima gemodelleerd die liggen rond de 8000 mg/l (mr U.G. Schiltsluis) en 2000 mg/l (Snelle Sluis) onder het W⁺ scenario.
- ▽ Bij de huidige gehanteerde chloride inlaatnorm van 200 mg/l (inlaat wordt gestopt wanneer het inlaatwater deze norm overschrijdt) betekent dit bij zowel het W⁺ als het G scenario dat de inlaat vanuit de grote rivieren (bij mr U.G. Schilthuis en Snelle Sluis) eerder en langer moet worden gestopt, waardoor eerder en langer water moet worden ingelaten via innamepunt Bergsluis. De noodzaak en duur van de KWA-procedure neemt bij ongewijzigde inlaatsnormering door klimaatverandering dus toe.
- ▽ Verruiming van de chloride inlaatnorm naar 600 mg/l zal leiden tot het later en korter sluiten van de inlaatpunten (Nieuwe Maas en Hollandse IJssel). Bij Bergsluis (KWA-procedure²) hoeft dan minder lang water te worden ingelaten onder het KNMI W⁺ scenario. Bij het G scenario hoeft Bergsluis niet meer te worden ingezet als inlaatpunt (zichtjaar is 2050, referentiejaar is 2003). De verruiming van de inlaatnorm voor chloride kan gezien worden als een potentiële klimaatadaptatiestrategie. De KWA-procedure kan echter ook ingesteld worden op basis van de inlaatbehoefte in Delfland of in Rijnland, zonder dat er water ingelaten wordt bij de Bergsluis. Deze situatie is niet onderzocht in deze studie. De waterbehoefte in Delfland en Rijnland bepalen tevens ook hoeveel water er aangevoerd kan worden via de Bergsluis.

² KWA staat voor Kleinschalige WaterAanvoer. De KWA-procedure wordt door de betreffende waterschappen ingezet in tijden van grote watertekorten met als doel om zoet water (uit o.a. het Amsterdam Rijnkanaal en de Lek) naar de polders in Zuid Holland aan te voeren (beheersgebieden van hoogheemraadschap Rijnland, Delfland en Schieland & Krimpenerwaard).



Toekomstige (externe) verzilting in de Schieland polder

- ▽ Van de twee doorgerekende klimaatscenario's (G en W⁺, beiden met zichtjaar 2050) leidt alleen het W⁺ scenario tot extra verzilting in het boezemsysteem, met name wanneer de chloridenorm voor het in te laten rivierwater wordt verhoogd naar 600 mg/l.
- ▽ De grootste mate van verzilting treedt op in het oostelijke deel van het boezemsysteem; de Ringvaart. Al wordt de specifieke chloridenorm³ van de Ringvaart (300 mg/l) zomerhalfjaargemiddeld nergens overschreden.
- ▽ De klimaatscenario's werken vooral door op de verzilting via hogere concentraties van het in te laten rivierwater, en niet zozeer via een grotere toekomstige waterbehoefte van de polders die aangesloten zijn aan het boezemstelsel van Schieland.
- ▽ Bij de modelstudie is de interne verzilting - het mogelijk zouter worden van kwel in het gebied - niet meegenomen. Tevens is aangenomen dat het chloridegehalte van het water dat bij Bergsluis wordt ingelaten (KWA-procedure) niet verandert in de toekomst.

De gemodelleerde chloridegehalten en de Kaderrichtlijn Water

- ▽ De chlorideconcentraties liggen in bijna alle KRW waterlichamen in de Schieland boezem NIET ten grondslag aan de meestal **slechte** of **ontoereikende kwaliteit** (KRW kwaliteitsbeoordeling). Uitzondering is de Zuidplaspolder Noord waar het chloride gehalte behoort tot een van de slechtst scorende kwaliteitselementen. In dit gebied geldt echter ook een strengere norm (150 mg/l chloride).
- ▽ De meeste aquatische soorten die gevoelig zijn voor de inlaat van lichtbrak water uit de hoofdinname punten, zijn te vinden in Zuidplaspolder-Zuid (de Waterparel). Eerdere studies stellen dat de soortenrijkdom in de sloten en wateren in dit gebied relatief hoger zijn dan elders in de polders van Schieland omdat ze (a) niet onder invloed staan van brakke kwel en (b) voornamelijk gevoed worden door regenwater.
- ▽ Verandering in waterbewegingen tussen de Ringvaart en de Zuidplaspolder-Zuid door extra inlaat bij de gemalen en eventuele illegale inlaten, kunnen een potentieel risico zijn voor de regenwater gevoede natuurwaarden in de Waterparel onder het W⁺ scenario en bij een aangepaste inlaatstop van 600 mg/l chloride. De huidige en toekomstige waterbewegingen zijn echter nog onvoldoende kwantificeerbaar te maken. In de overige polders lijkt een verruiming van de chloride norm naar 600 mg/l geen substantieel risico voor de huidig aanwezige soorten en de KRW doelen. Wanneer andere waterkwaliteitsparameters verbeteren, zoals de nutriëntconcentraties, is het nog wel nader te onderzoeken of gewenste zoetwatersoorten zich in het boezemstelsel zich kunnen vestigen bij een minder strenge chloride inlaatnorm. Bij het vaststellen van inlaatnormen is het voorts aan te bevelen niet alleen de chlorideconcentraties van het rivierwater in beschouwing te nemen maar ook andere waterkwaliteitsparameters (nutriënten, sulfaat).

Conclusies uit literatuuronderzoek over de zouttolerantie van de geselecteerde soorten

- ▽ De meeste in deze studie beschouwde waterplanten en vissen lijken te kunnen overleven bij de gesimuleerde chloridegehalten uit deze scenariostudie. De meest zoutgevoelige soorten uit de door ons gemaakte selectie, betroffen de invertebraten.

³ Deze specifieke norm is voor dit waterlichaam door het waterschap geformuleerd voor de Kaderrichtlijn Water(HHSK, 2009)

- ▽ De responsietabellen uit de Limnodatabase zijn niet altijd representatief voor de daadwerkelijke zouttolerantie van de geselecteerde waterplanten omdat de habitats met hogere chloridegehalten, waar deze soorten soms ook nog in kunnen voorkomen, weinig in Nederland te vinden zijn. Er zijn geen zouttolerantie grenzen op basis van chloride voor de Zwanenbloem (*Butomus umbellatus*), Glanzig fonteinkruid (*Potamogeton lucens*) en Plat fonteinkruid (*Potamogeton compressus*) gevonden in de internationale wetenschappelijke literatuur.
- ▽ Ook voor de krabbenscheer (*Stratoides aloides*) zijn geen zouttolerantiegrenzen op basis van chloride gevonden in de internationale literatuur. Dit is een soort die in naburige watersystemen voorkomt en vaak gekarakteriseerd wordt als zoutgevoelig. Dit heeft hoogstwaarschijnlijk meer te maken met de gevoeligheid voor sulfaat in plaats van met de gevoeligheid voor chloride, beiden anionen die mede het zoutgehalte bepalen van (lichtbrak) inlaatwater.
- ▽ Er is over het algemeen weinig literatuur gevonden over het herstelvermogen van de aquatische leefgemeenschap in relatie tot de blootstelling tot lichtbrak water.
- ▽ De chlorideconcentraties uit de scenario's vormen, over het algemeen, geen belemmering voor de ontwikkeling van kranwieren gemeenschappen in de Schie-landpolder. Kranwieren zijn zeldzaam in het beheersgebied door eutrofiëring. Vergelijk met internationale literatuur laat ook zien dat *Chara vulgaris* veel zouttoleranter is, dan wat je uit Nederlandse veldwaarnemingen uit de Limnodatabase zou verwachten.

Algemene aanbevelingen

- ▽ Veel van de zouttoleranties voor soorten in het aquatisch ecosysteem zijn in de internationaal wetenschappelijke literatuur uitgedrukt in saliniteit en niet in chloride. Er is een algemene omrekenfactor (UNESCO, 1973), maar die mag eigenlijk niet toegepast worden voor water met een saliniteit < 20‰. Het omrekenen van zouttoleranties met deze formule kan tot verkeerde inschattingen van de risico's op zoutschade leiden voor aquatisch ecologische levensgemeenschappen. Het verdient de voorkeur om per watersysteem een specifieke omrekenfactor vast te stellen op basis van tijdreeksanalyse van gemeten chloride, EGV en saliniteit. Voor het vaststellen van zouttoleranties voor natuur is het misschien beter om een maat te gebruiken voor alle zouten (e.g. EGV of saliniteit) bij het vaststellen van gebiedsgerichte inlaatsnormen.
- ▽ Om beter inzicht te krijgen op de effecten van de inlaat van lichtbrak water op de aquatische levensgemeenschap, de zouttolerantie van de gewenste/beschermden soorten (EU Habitatrictlijn, KRW) en de herstelcapaciteit na blootstelling (veerkracht), is het aan te bevelen om aanvullend experimenteel onderzoek te verrichten, dat kan vergeleken worden met de geregistreerde waarnemingen in het veld uit de Limnodatabase van STOWA en met waarnemingen elders in Europa. Hierbij gaat het niet alleen om de aan- of afwezigheid van flora of fauna zelf maar ook om het effect van zout op de verschillende overlevingsstrategieën (zaad, propagules, acclimatisatie, vluchtmogelijkheden, rekolonisatie en verspreiding).
- ▽ Het gebruik van de Limnodatabase van STOWA binnen het deelprogramma Zoetwatervoorziening is aan te bevelen. Niet alleen voor de bepaling en beoordeling van effecten op de waterkwaliteit en ecologie van adaptatie maatregelen of klimaatverandering, maar ook bij de evaluatie/kalibratie en interpretatie van de waterbalans van regionale watersystemen.
- ▽ Bij het vaststellen van de effecten van klimaatverandering op de aquatische levensgemeenschap in relatie tot de inlaat van lichtbrak water is het aan te bevelen om ook te kijken naar het effect van stijgende water temperatuur in combinatie met veranderende zoutdynamiek.



Aanbevelingen voor Schieland en Krimpenerwaard

- ▽ Er zijn nog verschillende onzekerheden geïdentificeerd in de water- en chloride balans van de verschillende polders die aangesloten zijn op de Schieland boezem. Het is aan te bevelen om in het bijzonder de Zuidplaspolder nader te beschouwen met het SOBEM model van het waterschap in combinatie met hydrologische monitoring en ecologische veldwaarnemingen. Misschien is het ook mogelijk om met behulp van ecologische data het functioneren van het regionale model verder te evalueren.
- ▽ Voor de Zuidplaspolder(zuid) is nader onderzoek nodig hoe de natuurwaarden in de Zuidplaspolder beschermd kunnen worden bij een ruimere inlaatnorm.
- ▽ Er is nog de vraag aan ons gesteld hoe een mogelijke verruiming van de inlaatnorm voor chloride zich verhoudt tot toepassing van de regionaal geldende verdringingsreeks⁴. In deze studie is een verruiming van 600 mg/l chloride onderzocht, er zijn ook andere varianten van verruiming van de chloridenorm mogelijk die nader onderzocht kunnen worden.
- ▽ Er zijn in de overleggen met HHSK ook andere waterbeheersscenario's en opties voor landgebruiksverandering benoemd die niet nader onderzocht zijn in deze studie, maar mogelijk wel relevant voor de identificatie van mogelijke strategieën ten bate van het deltaprogramma. In het overleg met het waterschap zijn bijvoorbeeld de volgende opties nog aanvullend geïdentificeerd: (a) wel/geen peilopzet, (b) doorspoelen op volle kracht/doorspoelen op halve kracht en (c) inlaat van water bij Schilthuis tijdens laagtij in plaats van tijdens hoogtij. Bij het laatste scenario is tevens de vraag welke technische aanpassingen dit vraagt.

⁴ Er is een nationale verdringingsreeks en daarvan zijn regionale verdringingsreeksen afgeleid. Verdringingsreeksen treden in werking wanneer er niet meer kan worden voldaan aan de aanvoer van zoet water die is vastgelegd in waterakkoorden. Het concept van de verdringingsreeks stamt uit de droge zomer van 1976 en zij zijn geactualiseerd na de droge zomer van 2003 (Rijkswaterstaat, 2009). Met betrekking tot de situatie met extreme droogte wordt door de provincie Zuid-Holland in overleg met de waterschappen een regionale verdringingsreeks uitgewerkt. In deze reeks worden de verschillende belangen bij de watervoorziening in een onderlinge rangorde geplaatst. Voor HHSK staat in dit verband de peilbeheersing veruit bovenaan, omdat dat essentieel is voor de instandhouding van het systeem (veiligheid en stabiliteit). In die omstandigheden wordt bij een tekort aan zoet water enige verziltig geaccepteerd (Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, 2009).

1 Inleiding

1.1 Context

Klimaatverandering, zeespiegelstijging, autonome verzilting en de toenemende zoetwatervraag vanuit diverse economische sectoren maken de zoetwatervoorziening in Nederland in de toekomst complexer, ondanks dat er, onder normale condities, zoet water in overvloed is. De kans op extremere perioden van droogte neemt toe (Van den Hurk, et al., 2006) en daarmee ook de risico's op zout- en droogteschade voor landbouw, natuur en drinkwater (Bruggeman, et al., 2011; Klijn, et al., 2011). Het wordt daarmee steeds moeilijker om de juiste hoeveelheid zoetwater met de gewenste chlorideconcentratie op de juiste tijd en plaats beschikbaar te hebben. Deze constatering werd ook gedaan door de 2^e Deltacommissie (Deltacommissie, 2008) en heeft ertoe geleid dat binnen het nationale deltaprogramma wordt toegewerkt naar een zogeheten nationale deltabeslissing over de "*Herziening van de nationale zoetwatervoorziening*". Deze deltabeslissing wil de rijksoverheid nemen rond 2015 (Ministerie van I&M & Ministerie van EL&I, 2011). Wat deze deltabeslissing precies gaat inhouden is nu nog onbekend. Eerst wil men de verschillende lange termijn zoetwateropgaven in verschillende regio's beter in beeld brengen, in zowel termen van kwantiteit als kwaliteit.

De huidige beslisregels, zoals de verdringingsreeks, over wateraanvoer naar de verschillende regio's worden in het deltaprogramma tegen het licht gehouden en mogelijk herzien mede met het oog op klimaatverandering. Tevens is de huidige normeringsystematiek op basis van chloride voor de inlaat van water uit het hoofdwatersysteem in de regionale watersysteem een onderwerp van dialoog tussen waterbeheer en kennisinstellingen (Stuyt, et al., 2011).

Ook het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK) brengt haar zoetwateropgave momenteel in beeld in het kader van het deltaprogramma (Anoniem, 2011). Daarbij worden knelpunten in beeld gebracht die ontstaan bij de huidige normeringsystematiek voor chloride en ecologische doelen die gesteld zijn vanuit de kaderrichtlijn water (KRW). De belangen die gemoeid zijn met de beschikbaarheid van zoetwater in het werkgebied van HHSK zijn zoetwater voor agrariërs en de ecologische kwaliteit van het water. Zoetwater voor agrariërs speelt alleen in bepaalde delen van de polders en komt dus alleen in gevaar als de inlaatpunten vanuit de boezem naar deze polders verziltten (>200 mg/l Cl). Inlaat van water vanuit het hoofdwatersysteem (rivieren) naar de boezem met hogere chlorideconcentraties (400-1000 mg/l) zouden daarbij geaccepteerd kunnen worden. Onduidelijk is echter hoe lang en tot welke concentraties dit acceptabel is voor de inlaatpunten van de polders.



De chloridenormen uit de KRW variëren tussen de 150 en 300 mg/l chloride in de polders die gelegen zijn aan de Schieland boezem (zie tabel 6.2). De gemiddelde chlorideconcentratie die gebruikt wordt bij de beoordeling van de ecologische kwaliteit van de wateren wordt berekend over het zomerhalfjaar. Tijdelijke inlaat van water met hogere chlorideconcentraties hoeft niet overal in de boezem en de polderwateren tot overschrijding van de chloridenormen te leiden. Daarnaast is de huidige ecologische kwaliteit van deze wateren ook lang niet altijd goed. Ook de ecologische kwaliteit biedt daarom mogelijk ruimte voor het tijdelijk toestaan van inlaat van water met hogere chlorideconcentraties. Inzicht in de huidige en toekomstige speelruimte die HHSK heeft bij het inlaten van water met hogere chlorideconcentraties is nodig bij het ontwikkelen van haar zoetwaterbeleid.

1.2 Doelstelling

Het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard heeft de vraag gesteld wat de effecten voor de aquatische ecologie zijn van snel afwisselende externe verzilting en verzoeting in het watersysteem binnen 1 groeiseizoen/zomerseizoen in het Schieland boezemsysteem onder verschillende klimaat- en waterbeheer scenario's. De bedoeling is ook om generieke conclusies uit de aanpak en resultaten te formuleren die bruikbaar zijn voor andere waterbeheerders.

Deelvragen:

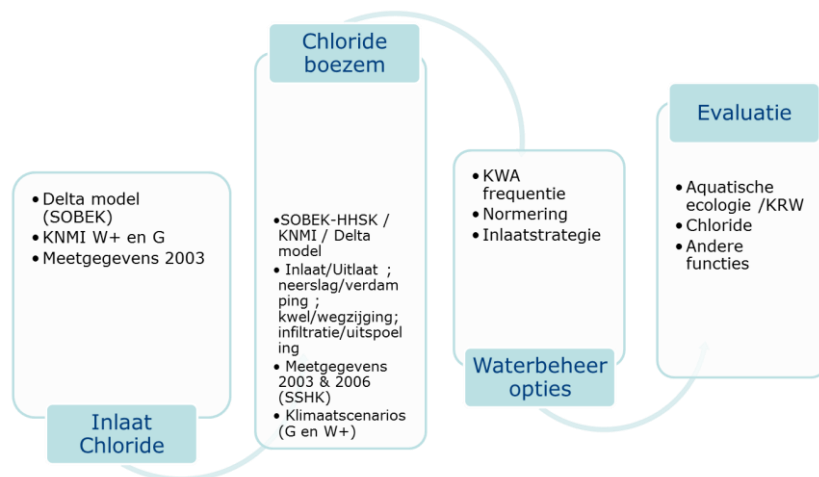
- ▽ Hoe neemt de externe verzilting toe bij de verschillende inlaatpunten van het boezemstelsel van Schieland bij verschillende klimaatscenario's voor een droog jaar (referentiejaar 2003)?
- ▽ Hoe werken deze veranderingen in zoutdynamiek in het hoofdwatersysteem door in het regionale watersysteem in tijd en ruimte? Hoe kun je dat inzichtelijk maken met het SOBEEK⁵ model van het hoogheemraadschap en de uitkomsten van het model evalueren met (beperkt) beschikbare meetgegevens en ervaringskennis bij het hoogheemraadschap?
- ▽ Is een verruiming van de chloridenormering (>200 mg/l) voor inlaat bij de verschillende inlaatpunten een kansrijke klimaatadaptatiestrategie?

⁵ SOBEEK is de naam van een modelleerpakket voor het modelleren van waterbewegingen in oppervlaktewatersystemen, ontwikkeld door WL|DELFT HYDRAULICS (heden Deltares). Dit modelleerpakket wordt ingezet bij het maken van gebiedspecifieke oppervlaktewatermodellen van bijvoorbeeld waterschappen, maar wordt in Nederland ook gebruikt voor verschillende compartimenten van het hoofdwatersysteem (Rijkswaterstaat).

- ▽ Wat betekent een snel afwisselende piekbelasting met chloride (verzoeting, verzilting) voor het bereiken van de Kaderrichtlijn Water doelen van dit boezemsysteem, aanliggende polders en waterlichamen? Leidt een piekbelasting met chloride tot een substantieel risico dat watersystemen die aangesloten zijn aan het boezemstelsel van Schieland in een lagere KRW kwaliteitsklasse komen? Of hebben andere externe factoren of maatregelen van het hoogheemraadschap méér invloed op de ecologische toestand van de wateren? De KRW ook verlangt dat de prognose van de waterkwaliteit (huidige waterkwaliteit + effect van autonoom beleid + effect van voorgenomen maatregelen) niet mag worden verstoord.

2 De aanpak van het onderzoek

Figuur 2.1, Algemene aanpak die gevolgd is om de onderzoeksvragen te beantwoorden.



Beschrijving algemene aanpak

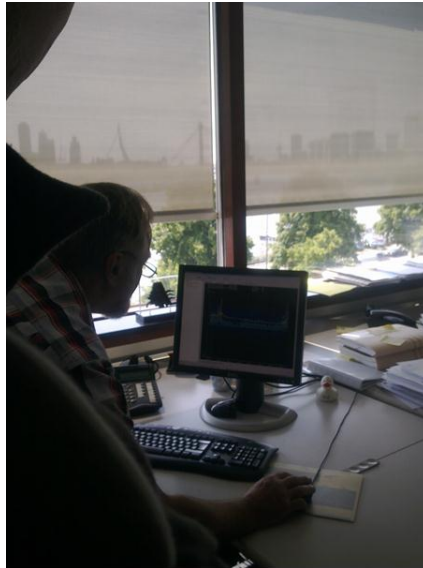
Figuur 2.1 illustreert de aanpak die gevolgd is om de onderzoeksvragen te beantwoorden. Op verschillende momenten tijdens het onderzoek is de benadering iteratief bijgesteld en aangescherpt in overleg met experts bij het Hoogheemraadschap Schieland & Krimpenerwaard, het KvK-Consortium Zoetwatervoorziening (in bijzonder werkpakket 1) en het Deelprogramma Zoetwatervoorziening van het nationale deltaprogramma. Een veldwerk bezoek van 1 dag (juli 2011, zie foto's) bij het hoogheemraadschap maakte onderdeel uit van deze aanpak. Er is veel tijd gestoken om in gezamenlijkheid onzekerheden te verkennen en oplossingen te bedenken voor (a) het gebrek aan data over de waterbalans (inlaatgegevens), (b) het denkkader voor de ecologische effect analyse en (c) het definiëren van waterbeheer opties voor de scenario analyse. Voor iedere stap in figuur 2.1 wordt de uiteindelijk gekozen aanpak verder beschreven.



Foto's: Impressies van veldwerkbezoek bij waterschap Schieland en de Krimpenerwaard (juli 2011). **Linksboven:** Michiel Lips laat de real-time chloridemeetgegevens zien bij de Brienoordbrug.

Rechtsboven: Dieselmotoren van hetemaal Mr. U.G. Schiltsluis in Rotterdam.

17

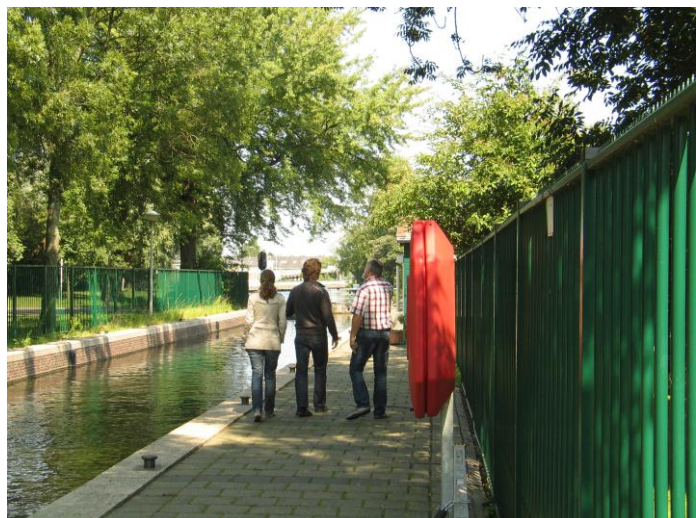


Links midden: troebel water in de Rottemeren.

Rechts midden: Din de eendragtspolder worden natuur, sport en waterberging gecombineerd.

Onder: Michiel Lips, Wieneke Huijben en Luuk van Gerven bespreken de KWA-procedure langs de kade van de Bergsluis.

Foto's: Jeroen Veraart



2.1 Berekenen chlorideconcentratie bij de inlaat

De zoutgehalten bij de innamelocaties Schilthuis (Nieuwe Maas) en Snelle sluis (Hollandse IJssel) zijn door Deltares berekend met het SOBEK-NDB1_1_0 model (Kraaijeveld, 2003; Van der Linden & Van Zetten, 2001)⁶, welke onderdeel is van het delta instrumentarium (Klijn, et al., 2011; Kroon & Ruigh, 2011). Dit model is eerder ook gebruikt in studies uitgevoerd door Rijkswaterstaat Dienst Zuid-Holland om beter inzicht te krijgen in het proces van externe verzilting bij klimaatverandering in de Nieuwe waterweg en het Haringvliet (Beijk, 2008).

De chloridegehalten bij de innamelocaties zijn bepaald voor het jaar 2003, een jaar met een droge zomer waarin veel rivierwater de Schieland polder is ingelaten. De berekende chlorideconcentraties zijn vergeleken met real-time meetgegevens uit dat jaar van bij de Lekhaven en de van Brienoordbrug in de Nieuwe waterweg/Nieuwe Maas. De chloridetijdreeksen zijn getransformeerd (Bessembinder, et al., 2011) voor het W⁺ en G scenario van het KNMI, met het zichtjaar 2050.

De toekomstige chlorideconcentraties bij de innamelocatie Bergsluis (waterinlaat vanuit het beheersgebied van Hoogheemraadschap Delfland) zijn niet bepaald, omdat deze op voorhand moeilijk zijn te voorspellen. Er mag alleen water worden ingelaten bij Bergsluis als de zogenaamde KWA-procedure⁷ actief is. De KWA is een stelsel van pompen en gemalen dat is ontworpen om in tijden van watertekorten zoet water naar de Zuid-Hollandse polders aan te voeren. Via drie routes vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek bereikt het water de polders (Van Waveren, et al., 2009). De KWA-procedure is tot nu toe alleen ingezet in 2003 en 2011, bij extreme droogte.

2.2 Berekenen chlorideconcentratie in boezemsysteem

De chlorideconcentraties in het boezemsysteem (Rotte boezem, Rotte meren en Ringvaart) zijn berekend met een voor deze studie ontworpen SOBEK model, draaiend onder SOBEK versie 2.09.003. De ligging en afmetingen van het boezemsysteem is overgenomen van een bestaand SOBEK model van het Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard, met de naam BOS-

⁶ NDB staat voor Noordelijk Delta Bekken, het gedeelte van de delta waar de Maas en Rijn uitmonden in de zee.

⁷ De afkorting KWA staat voor Kleinschalige WaterAanvoorziening. Dit is vastgelegd in het 'Waterakkoord Kleinschalige Wateraanvoorzieningen Midden-Holland' (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, et al., 2005). Dit waterakkoord regelt dat bij langdurige droogte de hoogheemraadschappen van Rijnland, Delfland en Schieland en de Krimpenerwaard over voldoende water kunnen blijven beschikken.



Boezeminlaat (Nelen & Schuurmans, 2006), waarin BOS staat voor Beslissing Ondersteunend Systeem.

De chlorideconcentraties in het boezemsysteem hangen af van de hoeveelheid water die in de zomer vanuit de rivieren moet worden ingelaten, afhankelijk van de watervraag van de aan het boezemsysteem grenzende polders. Deze watervraag komt tot stand door een samenspel van waterfluxen. De volgende waterfluxen zijn in deze studie beschouwd, waarbij tevens is aangegeven hoe ze in deze studie zijn bepaald:

- ▽ Uitspoeling van (grond)water naar het oppervlaktewater in de polders verbonden met het boezemsysteem (NHI model).
- ▽ Infiltratie van oppervlaktewater naar het grondwater in de polders verbonden met het boezemsysteem (NHI model).
- ▽ Neerslag op open water en verdamping van open water in de polders en het boezemsysteem (KNMI meetgegevens).

De interactie tussen grond- en oppervlaktewater in de polders is berekend met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI), versie 2.1 (Hoogewoud, et al., 2011). De grootte en richting van deze interactie verschilt door het jaar heen en hangt bovendien sterk af van eventuele kwel/wegzijging in de polders.

De waterfluxen in combinatie met het gevoerde peilbeheer in polders en boezem in 2003 resulteert in de beweging van water in het boezemsysteem. De gemodelleerde waterbeweging is voor het jaar 2003 vergeleken met meetgegevens op 2 niveaus:

- ▽ Interactie tussen boezem en rivieren (boezeminlaat / boezemuitslag).
- ▽ Interactie tussen boezem en polders (polderinlaat / polderuitslag).

Deze vergelijking wordt bemoeilijkt door het ontbreken van inlaatgegevens, op beide niveaus. Alleen bij Bergsluis is gemeten hoeveel water is ingelaten naar het boezemsysteem. De uitlaatgegevens zijn nagenoeg compleet, al ontbreken betrouwbare uitslaggegevens van het belangrijkste boezemgemaal (gemaal Schilthuis).

Gegeven de ontbrekende meetgegevens is de volgende stapsgewijze aanpak gevolgd om de gemodelleerde waterbeweging in het boezemsysteem zo goed mogelijk overeen te laten komen met de werkelijkheid en de ingelaten hoeveelheid rivierwater (kalibratie):

- ▽ **Stap 1:** correctie van de door het NHI berekende jaargemiddelde kwel/wegzijgingsflux per polder om de gemeten polderuitslag in de wintermaanden (november t/m februari) zo goed mogelijk te benaderen.
- ▽ **Stap 2:** de gemeten boezeminlaat bij Bergsluis - de enige actieve boezeminlaat in augustus en september 2003 - die de totale watervraag van de polders in deze maanden representeert, vergelijken met de modelresultaten. Het verschil is in dit onderzoek genomen als een maat voor het doorspoelen van de polders met boezemwater. Doorspoelen is het extra inlaten van water bovenop de hoeveelheid die nodig is om het polderpeil te handhaven. Dit is dus water dat naast het overtollige polderwater moet worden uitgeslagen door de poldergemalen, waarmee in stap 1 geen rekening is gehouden. Dit doorspoelen geschiedt overigens ook deels via particuliere inlaten die het hele jaar door boezemwater aftappen. De op deze manier bepaalde totale doorspoelbehoefte is areaal-gewogen verdeeld over de polders met particuliere inlaten en de kwel/wegzijgingsflux van deze polders is wederom aangepast om de extra uitslag van polderwater door het doorspoelen te compenseren.
- ▽ **Stap 3:** additionele doorspoelbehoefte in de zomermaanden bepalen om de gemeten polderuitslag in de zomer zo goed mogelijk te benaderen.

Aan alle bronnen van water in het gekalibreerde model (neerslag, uitspoeling en ingelaten rivierwater) zijn vervolgens chlorideconcentraties toegekend. De chlorideconcentratie van het uitspoelende water is afgeleid uit gemeten concentraties in het polderwater in januari en februari 2003. Dit zijn typische maanden waarin veel wordt doorgespoeld. De berekende chlorideconcentraties in het boezemsysteem zijn vervolgens getoetst aan metingen.

Het SOBEK model van het waterschap is dus gekalibreerd op waterkwantiteit en niet op waterkwaliteit (chloride). Hier is voor gekozen omdat de resolutie van de chloridemetingen in zowel tijd als ruimte ontoereikend was, bijvoorbeeld om af te leiden hoeveel rivierwater in 2003 is ingelaten.

De toekomstige chlorideconcentraties in het boezemsysteem bij het W⁺ en G scenario van het KNMI (zichtjaar 2050) zijn berekend door getransformeerde neerslag- en verdampingsreeksen van 2003 op te leggen aan het NHI en aan het open water. Ook zijn de getransformeerde chlorideconcentraties van de rivierwater innamepunten aan het model opgelegd, evenals de momenten waarop het verantwoord is met het oog op chloride om dit water in te laten, afhankelijk van het inlaatbeheer.



2.3 Scenario's voor waterbeheer

Er zijn diverse keuze mogelijkheden voor **het inlaatbeheer** bij de drie inlaatpunten (Bergsluis, Schiltsluis, Snelle Sluis), zoals het inzetten van de **KWA-procedure** (Bergsluis) en verruiming van de **chloridenormering** (wanneer het rivierwater deze norm overschrijdt wordt de inlaat stopgezet). Daarnaast was het oorspronkelijk (projectplan 2010) ook de bedoeling om aanbevelingen te formuleren over hoe de toekomstige zoetwatervraag voor dit regionaal boezemsysteem het beste geschat kan worden bij **landgebruiksverandering**.

Het hoogheemraadschap heeft later (juli 2011) de voorkeur uitgesproken om stapsgewijs de inlaat opties te verkennen in combinatie met een verruiming van de inlaatnormering voor chloride in een scenario benadering. De stapsgewijze scenario benadering houdt het volgende in:

- a. Als het in te laten water bij Schilthuis (Nieuwe Maas) 'te zout' wordt → dan inlaat via Snelle Sluis.
- b. Als het in te laten water bij Snelle Sluis (Hollandse IJssel) 'te zout' wordt → dan KWA-procedure (Bergsluis)

De stapsgewijze benadering is toegepast voor een chloride inlaatnorm van **200** mg/l (huidig) en **600** mg/l (een mogelijke verruiming). Dit levert, in combinatie met de 2 doorgerekende klimaatscenario's (G en W⁺), een matrix op van 4 waterbeheer die met het SOBEK model van het hoogheemraadschap zijn doorgerekend.

Er zijn in het overleg (juli 2011) met het waterschap nog meer mogelijke waterbeheer opties geïdentificeerd, zoals: wel/geen peilopzet, doorspoelen op volle kracht/doorspoelen op halve kracht en inlaat van water bij Schilthuis tijdens laagtij in plaats van tijdens hoogtij zoals nu gebeurt. Deze opties zijn niet doorgerekend met het SOBEK model.

Er is in deze studie nog geen rekening gehouden met de laatste inzichten en scenario's over de toekomstige nationale verdeling van zoetwater over de verschillende regionale waterbeheerders. De uitkomsten over de inzet van de KWA-procedure houden dus bijvoorbeeld nog geen rekening met een veranderende watervraag in het beheersgebied van hoogheemraadschap Rijnland en Delfland.

2.4 Evaluatie van de effecten voor de aquatische ecologie

De vraag is of een piekbelasting met chloride door de inlaat van lichtbrak water, zoals in een droog jaar als 2003, tot een substantieel risico leidt dat waterlichamen in de Schieland boezem in een lagere KRW kwaliteitsklasse komen. Dit risico moet worden afgewogen tegen andere externe factoren of maatreg-

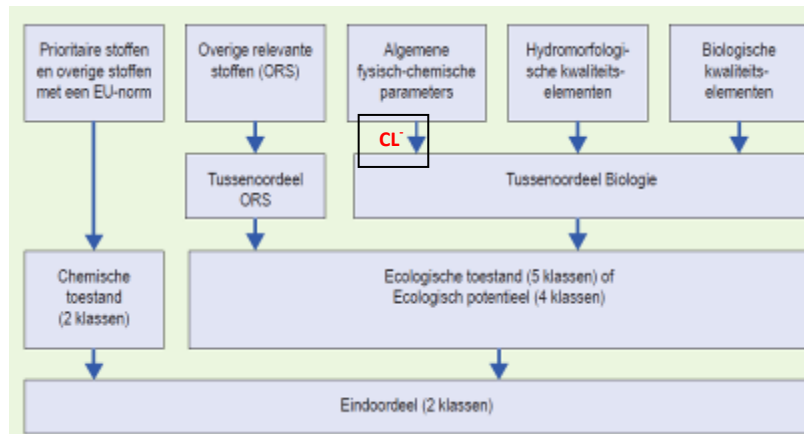
len van het hoogheemraadschap die ook de ecologische toestand van de wateren beïnvloeden.

Het waterschap heeft in haar beleid (HHSK, 2009) – conform de KRW – de maximaal toelaatbare chlorideconcentratie⁸ bij de inlaat op 200 mg/l vastgesteld, en monitort hierop (Stuyt, et al., 2011). De regionale verdringingsreeks (Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, 2009; Rijkswaterstaat, 2009) treedt in werking wanneer er niet meer kan worden voldaan aan de aanvoer van zoet water die is vastgelegd in waterakkoorden. In die omstandigheden wordt bij een tekort aan zoetwater, de inlaat van water met hogere chlorideconcentraties geaccepteerd. Voor de verschillende waterlichamen die deel uitmaken van het beheersgebied zijn specifieke chloridenormen benoemd in het kader van de KRW. Zo geldt bijvoorbeeld voor het gebied Zuidplaspolder-Zuid een soepelere norm van 300 mg/l chloride (zomergemiddelde) en voor de wateren in polder Bleiswijk een striktere norm van 150 mg/l.

Bij de analyse zijn de volgende fysische variabelen van de chloride piekbelasting van belang:

- De gemiddelde overschrijding van de chloridenorm van 200 mg/l
- De maximale overschrijding van de chloridenorm van 200 mg/l
- De duur van de overschrijding
- De periode (in het groeiseizoen) dat de overschrijding plaatsvindt in het zomerseizoen.
- De kans dat een piekbelasting zoals in een droog jaar als 2003 zich zal voordoen, nu, en in de toekomst.

Figuur 2.2. Beoordelingssystematiek Kader-richtlijn Water. Bron: (Arcadis, 2007)



De KRW maakt een onderscheid tussen een goede chemische toestand (ondersteunende parameters) en een goede ecologische toestand (figuur 2.2). De KRW kent vijf klassen voor de ecologische toestand: slecht, ontoereikend, ma-

⁸ Uiteindelijk is de provincie verantwoordelijk voor de norm. HHSK heeft nergens beschreven welke chloridegehalten aan boeren moeten worden geleverd.



tig, goed en zeer goed. De score 'goed' komt overeen met het GEP (Goed Ecologisch Potentieel). Per waterlichaam is de slechtst scorende **biologische** kwaliteitselement bepalend voor de totale ecologische score ('one out all out') (HHSK, 2009).

Op basis van de modelresultaten, literatuuronderzoek en expertoordeel is beoordeeld of bij klimaatverandering een verruiming van de chloridenorm een knock-out risico is voor het in stand houden van de huidige ecologische kwaliteit van de beschouwde waterlichamen. Hierbij is de opzet gevolgd zoals te zien is in tabel 2.1, de verschillende scenario (laatste 4 kolommen) zijn gepresenteerd in kaarten.

Tabel 2.1, Opzet van de risico analyse van de invloed van piek chloride belasting op KRW doelen, me 1 voorbeeld. Gebaseerd op HHSK (2009)

Waterlichaam	Huidig situatie totaal (KRW)	Prognose 2015	Prognose 2027	Slechtst scorende biologische en/of fysisch chemische kwaliteitselement	Chloride huidig (norm)	Dagen in zomerhalfjaar waarop chloridenorm wordt overschreden (%)			
						G, 200 mg/l	W+, 200 mg/l	G, 600 mg/l	W+, 600 mg/l
Binnenwegse polder (M1a)	slecht	slecht	Ont.	Overige waterflora (EKR)	150				
Kleurcodes									
Slecht									slecht
Ontoereikend									Ont.
Matig									matig
Goed/Zeer goed									goed

Daarnaast is voor een geselecteerd aantal soorten (a) literatuuronderzoek gedaan naar de zout/chloride tolerantie en zijn (b) chloride responsietabellen (CL₁₀, CL₂₅, CL₅₀, CL₉₀) opgesteld op basis van geregistreeerde waarnemingen in de Limnodatabase van STOWA. Deze responsietabellen van STOWA zijn gebaseerd op Nederlandse veldgegevens. Er is van verschillende soorten bekend dat op basis van buitenlandse veldobservaties er hogere zouttolerantie grenzen, vastgesteld kunnen worden (Runhaar, et al., 1997). Dit komt bijvoorbeeld omdat er in het buitenland meer veldgegevens beschikbaar zijn van de lichtbrakke tot brakke milieus, maar kan ook verklaard worden door genetische aanpassingen binnen de soort. Voor de geselecteerde soorten is een EXCELL database gemaakt waarin de informatie uit de STOWA Limnodatabase, baseline veldwerkstudies (Barendregt, et al., 1990; Ellenberg, et al., 1991; Luther, 1951) en aanvullende informatie over zouttolerantie uit de buitenlandse literatuur zijn bijeengebracht.

De selectie van soorten is gemaakt door expertoordeel op basis van beschikbare soortenlijsten. Soortenlijsten van de Schielandboezem uit de limnodatabase

(STOWA, 2011) en aanvullende bronnen (Cuppen, 2005; Keizer-Vlek, et al., 2010; Keizer-Vlek, et al., 2009; Keizer-Vlek & Verdonschot, 2008; Maessen, et al., 2008) zijn geraadpleegd om te onderzoeken welke soorten aanwezig zijn waarvan bekend is dat ze in meer of mindere mate gevoelig zijn voor zout. Voorts zijn er soorten uit verschillende componenten uit het aquatisch ecosysteem (vis, waterplanten, macro-invertebraten) geselecteerd.

Per component uit het aquatisch ecosysteem is eerst een algemene schets gegeven over de gevoeligheid voor verzilting. Zoöplankton en fytoplankton zijn alleen op groepsniveau in beschouwing genomen, maar niet op soortniveau. De geselecteerde soorten betreffen niet alleen zeldzame soorten maar ook veelvoorkomende (structuurbepalende) soorten. Er zijn ook enkele afwezige soorten (natuurdoeltypen uit de EU Habitat richtlijn) meegenomen waarvan te verwachten is dat ze terugkeren bij een verbeterde waterkwaliteit in de Schieland boezem (Van den Broek & Van-Kampen-Brouwer, 2003). Dit zijn soorten die vaak ook te vinden zijn in omliggende watersystemen die deel uitmaken van de Groene Ruggengraat.

Vis

- ▽ Rivierdonderpad (*Cottus gobio*, *Cottus perifretum*)
 - Reden van selectie: Een natuurdoeldype (N3.18a) die waargenomen is in Schieland.
- ▽ Zeelt (*tinca-tinca*)
 - Reden van selectie: De Krabbenscheer levensgemeenschap (Habitattype H3150) gaat ook gepaard met een rijke visstand van het Snoek-Zeeltype.
- ▽ Kleine Modderkruiper (*Cobitis taenia*)
 - Reden van selectie: zie boven. Een zeldzaamheid in het boezemstelsel van Schieland (Limnodatabase) en wettelijk beschermd (rode lijst soort).
- ▽ De winde (*Leuciscus idus*)
 - Reden van selectie: een rode lijst soort (wettelijk beschermd). Een zeldzaamheid in het boezemstelsel van Schieland.
- ▽ Snoek (*Esox lucius*)
 - Reden van selectie: Geselecteerd op verzoek HHSK, een belangrijke (algemene) soort voor het beheer.



Aquatische vegetatie

- ▽ Plat fonteinkruid (*Potamogeton compressus*)
 - Reden van selectie: Rodelijst soort (wettelijk beschermd), aangetroffen in de Waterparel.
- ▽ glanzend fonteinkruid (*Potamogeton lucens*)
 - Reden van selectie: Aangetroffen in de Waterparel, er was een vermoeden dat de soort niet zouttolerant is.
- ▽ Zwanenbloem (*Butomus umbellatus*)
 - Reden van selectie: Wettelijk beschermd; in de veenweidegebieden niet zeldzaam.
- ▽ Gewoon kransblad (*Chara vulgaris*)
 - Reden van selectie: De Kranswierengemeenschap is een habitatype (H3140) binnen Europese regelgeving voor natuurbeheer. Gewoon kransblad is een van de meer algemenere kranswiersoorten, maar structuurbepalend voor dit type ecosysteem. Aangetroffen in de Waterparel.
- ▽ Puntdragend glanswier (*Nitella mucronata*)
 - Reden van selectie: Een kranswier; zeldzame soort in Schieland, aangetroffen in de Waterparel.
- ▽ Krabbenscheer (*Stratoides aloides*)
 - Reden van selectie: De Krabbenscheer gemeenschap is een habitatype (H3150) binnen Europese regelgeving voor natuurbeheer. De soort wordt in de praktijk veelvuldig benoemd als een zoutgevoelige soort.

Macrofauna

- ▽ Een soort binnen de watermijten (*Oxus ovalis*)
 - ▽ Een soort binnen de snuitkevers (*Eubrichus velutus*)
 - ▽ Een soort binnen de kokerjuffers (*Ceraclea senilis*)
 - ▽ Een soort binnen de slakken (*Anisus vorticulus*)
- Reden van selectie: Bovenstaande macrofauna soorten zijn geselecteerd omdat in eerder veldwerk, in opdracht van HHSK, deze soorten als zeldzaam werden beoordeeld (Cuppen, 2005; Gmelig Meyling & De Bruyne, 2006). Op basis van een eerste quickscan van de Limnodatabase is geconcludeerd dat deze soorten mogelijk ook gevoelig zijn voor blootstelling aan tijdelijk verhoogde chlorideconcentraties.

2.5 Gebruikte definities voor zoet, zout, brak en verzilting

Zout, brak en zoet

De woorden 'zout', 'brak' en zoet worden op verschillende manieren gebruikt, gedefinieerd en gemeten (elektrisch geleidingsvermogen (EGV), saliniteit, chloride in verschillende wetenschappelijke disciplines zoals de aquatische ecologie (Nijboer, et al., 2003; Remane & Schlieper, 1971), ecohydrologie (Wamelink & Runhaar, 2000), hydrogeologie (Stuyfzand, 1993), plantenfysiologie (Voogt, 2009), mariene/estuariene ecologie (Baptist, et al., 2007; UNESCO, 1973) en cultuurtechniek (CTV & Werkgroep herziening cultuurtechnisch vademecum, 2000). De begrippenkaders voor zoet en zout zijn tevens vaak ook verschillend binnen het Nederlandse waterbeheer (Stuyt, et al., 2011) en het natuurbeleid (Paulissen, et al., 2007). Voorts worden diverse eenheden gebruikt in de literatuur om de chlorideconcentratie, saliniteit of elektrisch geleidingsvermogen (EGV) uit te drukken zoals mg/l, mmol/l, ‰, PSU, mS/cm (EGV). Ook hier zijn voorkeuren waar te nemen. In de mariene en estuariene ecologie werkt men veelal met saliniteit uitgedrukt in promille terwijl in het Nederlandse waterbeheer men de zoutnormen uitdrukt in chlorideconcentratie uitgedrukt in mg/l. Het gebruik van EGV waarden om zouttoleranties te bepalen wordt vaak toegepast in de plantenfysiologie, neem bijvoorbeeld de bekende Maas-Hoffman relaties om zoutschade in de landbouw te bepalen (Van Bakel & Stuyt, 2011).

In dit onderzoek zijn in het woordgebruik, zo goed als mogelijk, de definities uit tabel 2.2 gehanteerd en zijn gevonden waarden in de internationale onderzoeksliteratuur, waar mogelijk, omgerekend (UNESCO, 1973) naar chlorideconcentratie, uitgedrukt in (mg/l). Deze keuze is gemaakt om zo dicht mogelijk bij het huidige woordgebruik en definitiekader van zoet en zout in het huidige waterbeheer te blijven.

Tabel 2.2, *Indeling in zoutklassen in het gegevensbestand 'Abiotische Randvoorwaarden natuurdoeltypen, gebaseerd op (Wamelink & Runhaar, 2000).*

Zoutklasse	Chloride concentratie (mg/l)
Zeer zoet	<150
Zoet	150-300
Licht brak /Zwak brak	300-1000
Brak	1000-5000; grote fluctuaties in chloride concentraties
Brak-Zout	5000-10.000; grote fluctuaties in chloride concentraties
Zout	>10.000
Zeewater	18.000

Het gebruik van saliniteit of EGV heeft bij verschillende onderzoekers de voorkeur omdat dit beiden een maat zijn voor alle opgeloste kationen en anionen (Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , etc....). De factor die het effect van zout op een organisme bepaald is in veel gevallen niet alleen aan het chloride ion toe te schrijven. Verschillende ecologen vinden voorts de grote fluctuaties in zoutgehalte in ruimte en tijd het belangrijkste kenmerk van brakke wateren die de soortensamenstelling bepaald (Remane & Schlieper, 1971), in plaats van de gemiddelde chlorideconcentratie.



Verziltig

In dit onderzoek wordt verziltig gezien als een proces waarbij zoet water wordt belast met zout(er) water waardoor het zoutgehalte, uitgedrukt in milligram chloride per liter (mg Cl/l), toeneemt. Deze belasting kan een gevolg zijn van (a) zoutindringing vanuit zee via de Nieuwe Waterweg (externe verziltig); (b) zoute kwel (interne verziltig), vooral in lage poldergebieden met zoute onderlagen of in een zoute omgeving en (c) Verdamping (Rijkswaterstaat directie Zeeland, et al., 2009). Zowel natuurlijke dynamiek en processen, ruimtegebruik en ingrepen in het watersysteem kunnen ten grondslag liggen aan het proces van verziltig.

Achtergrond KRW zoutnormering

De zoutnormering die in de kaderrichtlijn Water per type waterlichaam zijn afgesproken, zoals de norm van 200 mg/l die HHSK voor de meeste waterlichamen in de Schielandboezem hanteert, zijn afgeleid uit een assessment van dosis-effect studies die in de internationale literatuur zijn opgezocht door het RIVM (Verbruggen, et al., 2008).

Tabel 2.3, Chloride concentraties (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) Chloride in mg/l		
	Zeer goed (ZGET)	Goed (GET)	Matig of slechter
Grote rivieren (zoet)	≤ 150	≤ 150 ⁹	≤ 200 (matig) ≤ 250 (ontoereikend) ≤ 250 (slecht)
Meren en plassen (zoet)	≤ 200	≤ 200 ⁶	≤ 250 (matig) ≤ 300 (ontoereikend) ≤ 300 (slecht)
Uitlopers grote rivieren (getijdenwater)	≤ 300	≤ 300 ⁶	≤ 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

Het RIVM heeft in deze assessment milieurisicogrenzen afgeleid voor chloride in zoet oppervlaktewater en sediment, en voor grondwater en bodem dat niet door brak of zout water is beïnvloed. De milieurisicogrenzen zijn op systematische wijze (Van Vlaardingen & Verbruggen, 2007) met zo actueel mogelijke toxicologische gegevens vastgesteld, conform de Europese Kaderrichtlijn Water. Het RIVM beschrijft de MTR (Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau) en ER

⁹ 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). (Evers, 2006).

(Ernstig Risiconiveau) voor oppervlaktewater¹⁰, bodem en sediment. Dit zijn wetenschappelijk afgeleide waarden die dienen als advieswaarden. Deze milieurisicogrenzen hebben **geen officiële status**.

Het merendeel van de gebruikte dosis-effect studies voor chloride hebben betrekking op leefgemeenschappen en soorten in het aquatisch milieu. De normering is alleen bedoeld voor wateren die van nature zoet zijn. Dosis-effect relaties voor terrestrische planten zijn in mindere mate beschikbaar.

Er zijn voor chlorideconcentraties geen humaan-toxicologische risicogrenzen afgeleid door het RIVM. Wel is er een kwaliteitsnorm van 150 mg/l voor chloride in oppervlakte water bestemd voor de bereiding van drinkwater (VROM, 1999). Deze norm is gebaseerd op organoleptische eigenschappen (smaak) en fysische 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). Wel zijn in de RIVM studie dosis-effect relaties meegenomen voor oppervlakte water dat gebruikt wordt als drinkwater voor vee. Men legt toxicologische risicogrenzen voor het vee bij chlorideconcentraties van 1000 tot 2000 mg/l (Swartjes & Verbruggen, 2006).

¹⁰ De MTR voor chloride is in 1999 door VROM op 200 mg/l chloride vastgesteld voor oppervlakte water. Verbruggen et al. (2008) heeft 2 verschillende milieurisicogrenzen afgeleid, (1) het niveau waarbij geen schadelijke effecten zijn te verwachten (MTR) en een niveau waarbij mogelijk ernstige effecten voor ecosystemen zijn te verwachten ER_{eco} . 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)



3 Beschrijving van het onderzoeksgebied

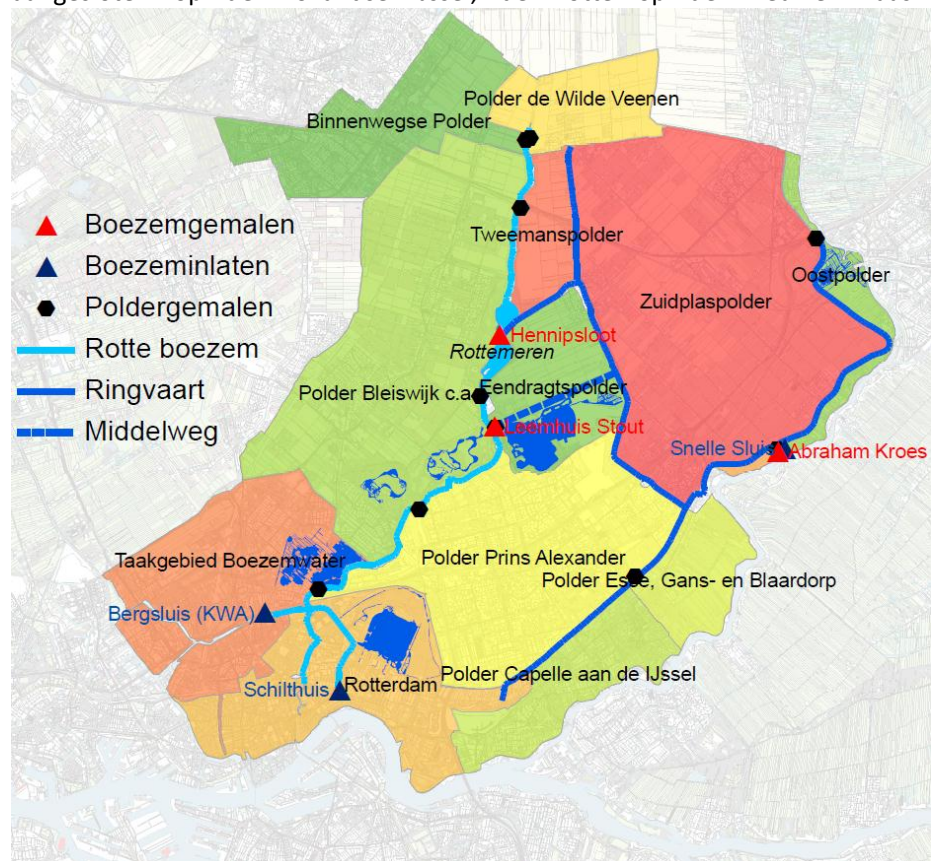
3.1 Systeembeschrijving

3.1.1 De hydrologie en het waterbeheer

Het boezemstelsel van Schieland bestaat uit 13 polders waarvan de meeste 5 tot 6 meter beneden zeenniveau liggen, afgezien van een aantal polders ten zuiden en oosten van de Ringvaart boezem die enkele meters hoger liggen, maar nog steeds beneden zeeniveau. De zuidelijke helft van de Schieland polders bestaan voornamelijk uit stedelijk gebied. Het landelijke gebied (noorden) bestaat uit een uitgebreid netwerk aan poldersloten. De polders zijn aangesloten op het hoger gelegen boezemsysteem dat bestaat uit de Rotte en de Rottemeren aan de westkant en de Ringvaart aan de oostkant. De Ringvaart is aangesloten op de Hollandse IJssel, de Rotte op de Nieuwe Maas.

29

Figuur 3.1. De Schieland polder en zijn boezemstelsel. N.B.emaal Mr. U.G. Schilthuis doet dienst als zowel inlaat als uitlaat.



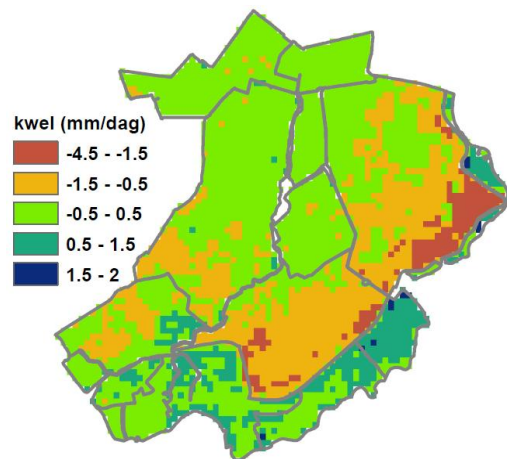
Zowel het boezemsysteem als de polderwaterlopen hebben een streefpeil, deze is in meer detail beschreven in eerdere STOWA studies (Ogink, 2010; Ogink & Klopstra, 2011). Om dit streefpeil te handhaven (binnen een marge van enkele centimeters) wordt overtollig polderwater via poldergemaal naar het boe-

zemsysteem gepompt om vervolgens door boezemgemalen te worden uitgeslagen op de Nieuwe Maas (gemaal Mr. U.G. Schilthuis) en Hollandse IJssel (gemaal Abraham Kroes). In de zomer, ten tijde van droogte, moet rivierwater het boezemsysteem worden ingelaten om vervolgens te worden ingelaten in de polders. Er zijn 3 boezem innamepunten: Schilthuis (Nieuwe Maas), Snelle Sluis (Hollandse IJssel) en Bergsluis. Dit laatste innamepunt, waar water vanuit Delfland wordt ingelaten, is alleen actief wanneer de KWA-procedure wordt ingezet. Dit was tot nu toe alleen het geval in 2003 en 2011, ten tijde van extreme droogte.

Er is geen wateruitwisseling tussen de Rotte boezem en de Ringvaart. Uitzondering hierop zijn droge zomerperiodes waarin niet meer alle boezeminnamepunten actief zijn vanwege overschrijding van de inlaat chloridenorm. Zo gaat er water van de Ringvaart naar de Rotte (via gemaal Hennipsloot en Leemhuis Stout) als de inlaat vanuit de Nieuwe Maas is gestopt. Wanneer ook de inlaat vanuit de Hollandse IJssel wordt stop gezet en de KWA-procedure wordt ingezet, gaat er water van de Rotte naar de Ringvaart via gemaal Hennipsloot.

De waterbeweging in de polders van Schieland en het boezemstelsel wordt via gemalen en inlaten geregisseerd door menselijk handelen. In de Schieland polder speelt bovendien het doorspoelen van de polders een belangrijke rol. De doorspoelbehoefte wordt deels bepaald door particulieren die water aftappen uit het boezemsysteem, met name in de landelijke polders. De hoeveelheid water die gemoeid is met deze particuliere inlaten is niet bekend.

Het wateraanbod en de watervraag van de polders, de drijvende kracht achter de waterbeweging in de Schieland polder, wordt bepaald door het samenspel van wateruitwisseling tussen atmosfeer en open water enerzijds (neerslag en verdamping) en wateruitwisseling tussen landsysteem en oppervlaktewater anderzijds (uitspoeling en infiltratie). Deze laatste vorm van wateruitwisseling is verreweg het belangrijkste en wordt onder meer beïnvloed door de kwel- of wegzijgings-situatie. Uit Figuur 3.2 blijkt dat water vanuit de hoger gelegen polders ten oosten van de Ringvaart wegsijpelt naar de dieper gelegen Alexander en Zuidplaspolder.

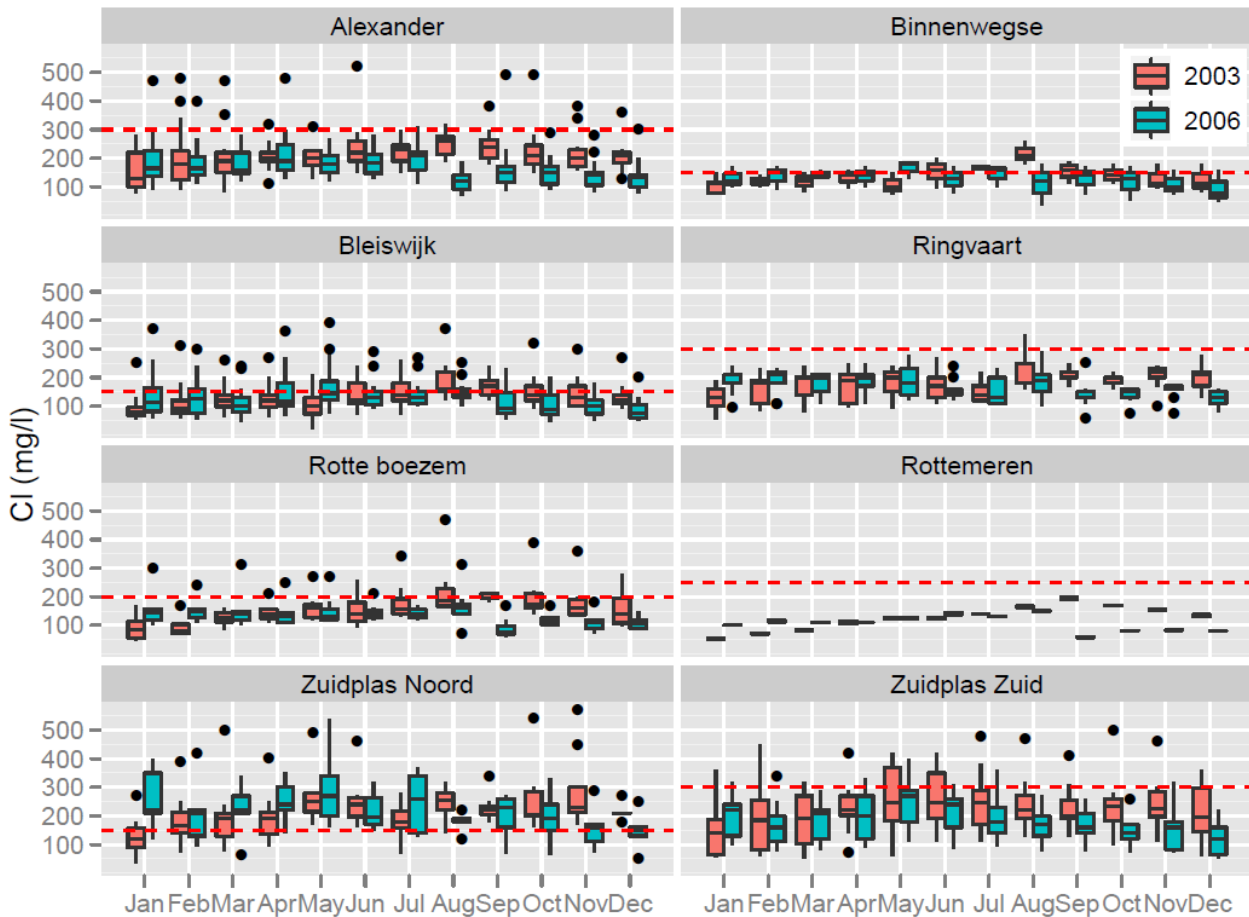


Figuur 3.2, Kwel flux (negatieve waarde) of wegzijgingsflux (positieve waarde) in de Schieland polder, zoals berekend door het NHI, versie 2.1.



3.1.2 Chloride in de boezem: de karakteristieken van 2003 en 2006

In Figuur 3.3 is het verloop van de gemeten chlorideconcentraties gedurende 2003 en 2006, beide jaren met een droge zomer, weergegeven voor enkele locaties. De gemeten chlorideconcentraties van alle beschikbare locaties zijn weergegeven in Figuur A.1 in bijlage A.

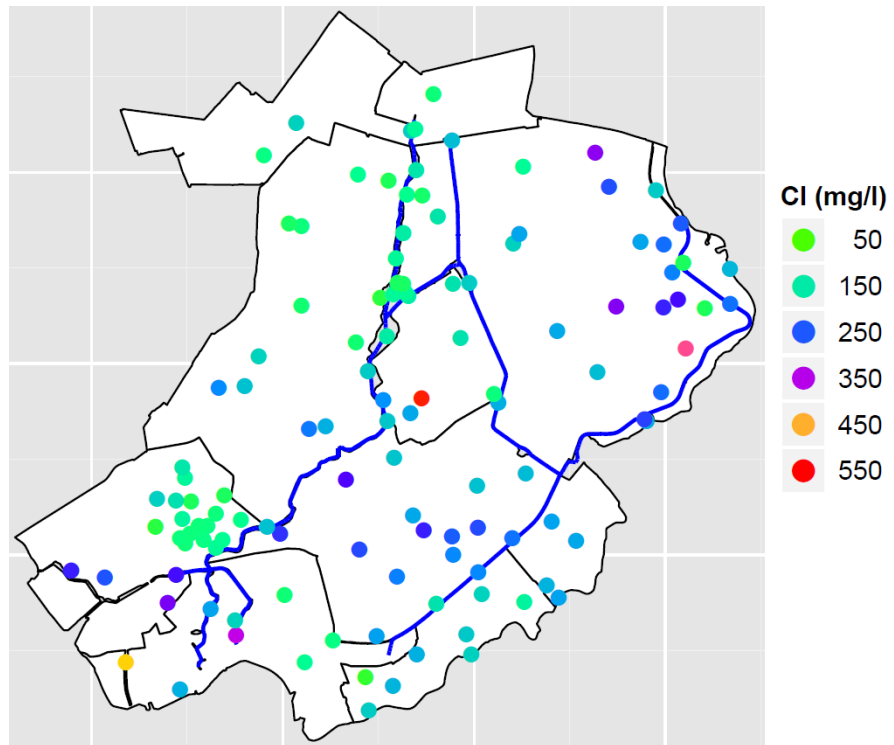


Figuur 3.3. Gemeten chlorideconcentraties (mg/l) in 2003 en 2006 van verschillende waterlichamen in de Schieland polder, weergegeven door een boxplot en vergeleken met de voor de waterlichaam geldende chloridenorm voor het zomerhalfjaar (stippellijn). Voor de polders geldt dat niet alleen de metingen in het gedefinieerde waterlichaam zijn weergegeven maar ook de metingen elders in de polder. Boxplot: box loopt van 25^e percentiel tot 75^e percentiel, middelste streep geeft mediaan. De punten betreffen 'outliers'.

In 2003 liep het neerslagtekort gedurende het zomerseizoen sterk toe. Veen-
dijken werden instabiel door de droogte en mede daarom werd in verschillen-
de watersystemen in laag-Nederland licht brak water ($300 < \text{Chloride} < 1000$
mg/l) ingelaten. Er waren toen veel speculaties in de pers over de mogelijke
schade aan natuur. Het Alterra rapport 1302 (Runhaar, et al., 2006) beschrijft
dat de inlaat van water met een chloridegehalte van >1000 mg/l kan leiden tot
onomkeerbare schade aan zoete aquatische natuur (flora). Het rapport stelt
dat het minder duidelijk is wat het effect is van de inlaat van licht brak water
($300-1000$ mg/l) is op de aquatische levensgemeenschap (tijdelijke blootstel-
ling). In figuur 3.3 is te zien dat in de meeste polders in 2003 in bijna alle pol-
ders de chlorideconcentraties (maandgemiddelden) onder de norm (rode stip-

pellijn) zijn gebleven, met uitzondering van Zuidplas-Noord. Het is ook te zien dat in dit waterlichaam ook in 2006 de chlorideconcentraties (maandgemiddelden) boven de norm lagen. Het jaar **2006** begon net zoals 2003 erg droog tot dat een zeer natte augustus zich voordeed die een verlagend effect had op de chlorideconcentraties. In sommige polders is er een grote spreiding in de gemeten chloridegehalten, afhankelijk van de ligging van de meetlocaties (zie ook Figuur 3.4).

Figuur 3.4, Zomerhalf-jaargemiddelde chloride concentratie per meetlocatie, in het jaar 2003.



3.1.3 Kaderrichtlijn Water, Ecologie en chloride

In het boezemsysteem worden de volgende KRW-type watersystemen onderscheiden: zoete sloten gebufferd op kleigrond (M1a), gebufferde laagveensloten (M8), ondiepe laagveenplassen (M25), matig ondiepe laagveenplassen (M27) en zwak brakke wateren (M30). De waterbeheerder streeft naar een 'goede ecologische kwaliteit' (KRW maatlat) voor de plassen, recreatiegebieden, de ringvaart en Zuidplaspolder-Noord (richtjaar 2027). Voor de waterlichamen (voornamelijk sloten en boezemwateren) in de overige polders en stedelijk gebied wordt gestreefd naar een 'matige ecologische kwaliteit' voor het richtjaar 2027 (HHSK, 2009). Op dit moment is de waterkwaliteit in deze waterlichamen vaak 'ontoereikend' tot 'slecht'.

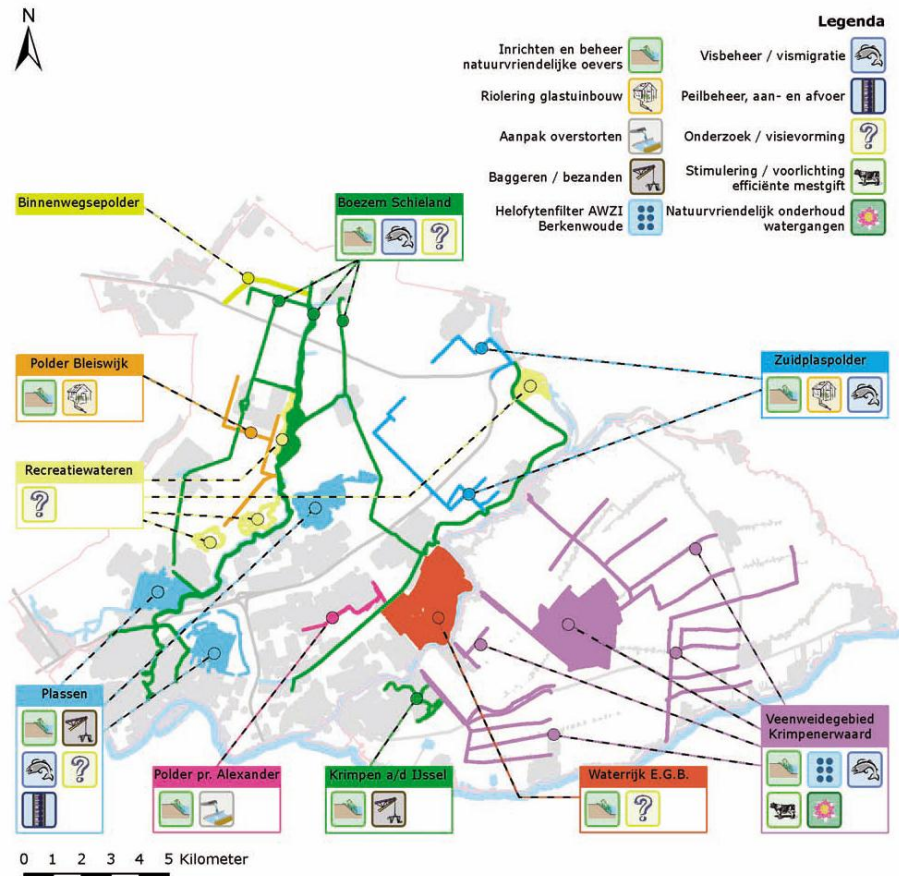
HHSK voert tot en met 2015 diverse maatregelen (figuur 3.5) uit in het kader van de Kaderrichtlijn Water (KRW). Maatregelen die gepland zijn betreffen onder andere natuurvriendelijke oevers, het rioleren van glastuinbouwbedrijven, verbetering van de vispasseerbaarheid van kunstwerken, specifieke maatregelen



len in enkele plassen (zoals waterbodemsanering en actief biologisch beheer,), onderzoek en monitoring naar het functioneren van watersystemen en het aanleggen van voor waterplanten begroeibare zones in o.a. de Rotte.

Figuur 3.5, KRW maatregelen in het beheersgebied van Schieland en Krimpenerwaard. Bron: HHSK (2009)

33



Vooral in en rondom de plassen zijn al veel maatregelen genomen om de waterkwaliteit en ecologie te verbeteren. Zo is de waterbodemsanering van de Bergse plassen in de periode 2000-2002 gesaneerd, in combinatie met aanvullende maatregelen zoals actief biologisch beheer, aanleg van helofytenfilters en defosfateren van inlaatwater. Ook heeft men op enkele plaatsen de waterbodems afgedekt met zandlagen om de fosfaatflux te limiteren. De Zevenhuizerplas, een diepe zandwininput, heeft een betere waterkwaliteit in vergelijking tot veel andere plassen in het beheersgebied van Schieland. Een mogelijke verklaring hiervan is dat dit watersysteem bijna volledig wordt gevoed door regenwater.

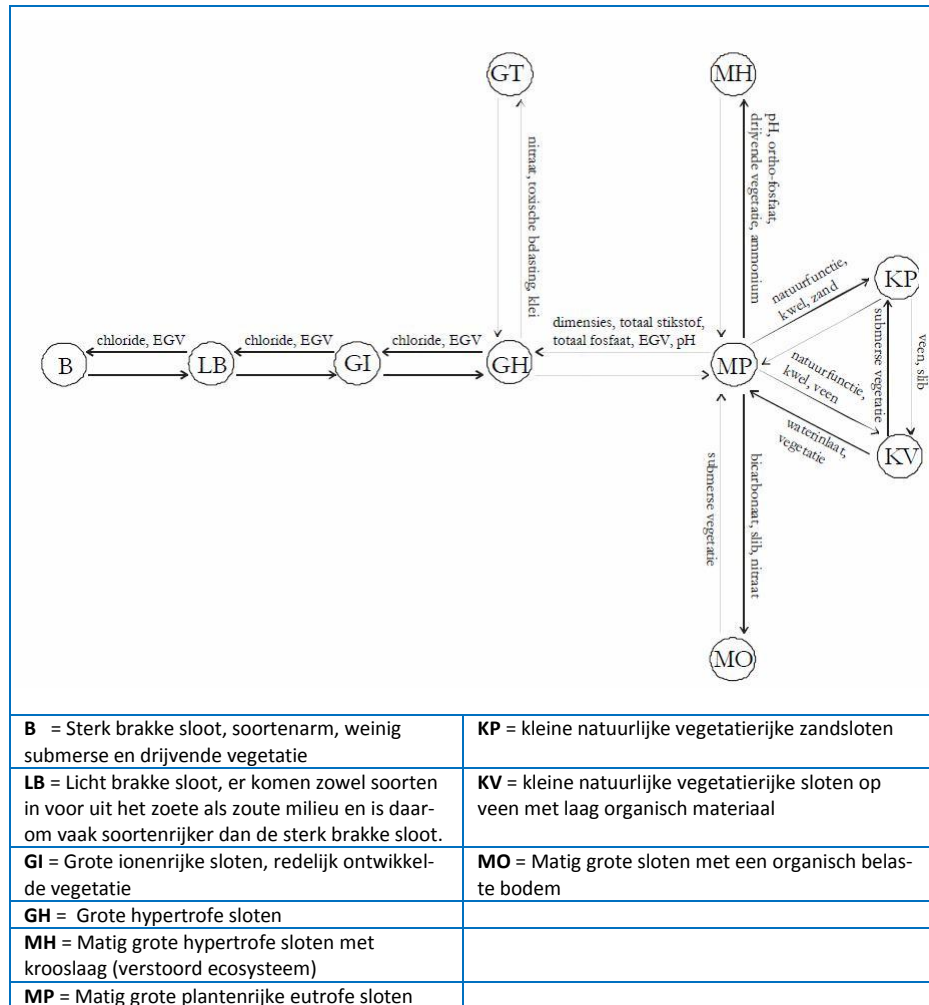
In en rondom het boezemstelsel van Schieland zijn geen Natura2000 gebieden, in sommige beschreven streefbeeld (Van den Broek & Van-Kampen-Brouwer, 2003) worden karakteristieke soorten genoemd uit de habitattypen H3140 (kranswiergemeenschappen) en H3150 (krabbenscheer en fonteinkruid). Natuurdoeltypen worden niet of nauwelijks aangetroffen in de waterlichamen in Schieland (Keizer-Vlek, et al., 2009; Keizer-Vlek & Verdonschot,

2008). Ze zijn wel te vinden in nabijgelegen Natura2000 gebieden buiten Schieland, zoals in de Reeuwijkse plassen.

Cenotypen en chloride

Binnen de kaderrichtlijn water wordt veel gewerkt met het concept van cenotypen. Dit is een methode (Verdonschot, 1990 ; Verdonschot & Nijboer, 2000) om de ecologische toestand van sloten en stromende wateren globaal te omschreven op basis van aanwezige macrofauna (veld data). Ook worden er verbanden gelegd tussen de verschillende cenotypen (figuur 3.6). In het boezemstelsel van Schieland worden de cenotypen (Nijboer, et al., 2003) MP, GH, GT, GI, en KV onderscheiden. In de studie van Nijboer et al. (2003) vallen de meeste sloten in het boezemstelsel van Schieland onder het cenotype GT (toxisch belast). Nijboer et al. (2003) leggen de grens tussen brak en zoet bij 750 mg/l chloride. Hoe zij de grens tussen licht brak en sterk brak water hebben bepaald is niet te achterhalen uit het rapport. Sloten van het cenotype LB en B kwamen beiden niet voor in de watersystemen in en rondom het boezemstelsel van Schieland in 2003.

Figuur 3.6, Netwerk van macrofauna cenotypen.
Bron: (Nijboer, et al., 2003)



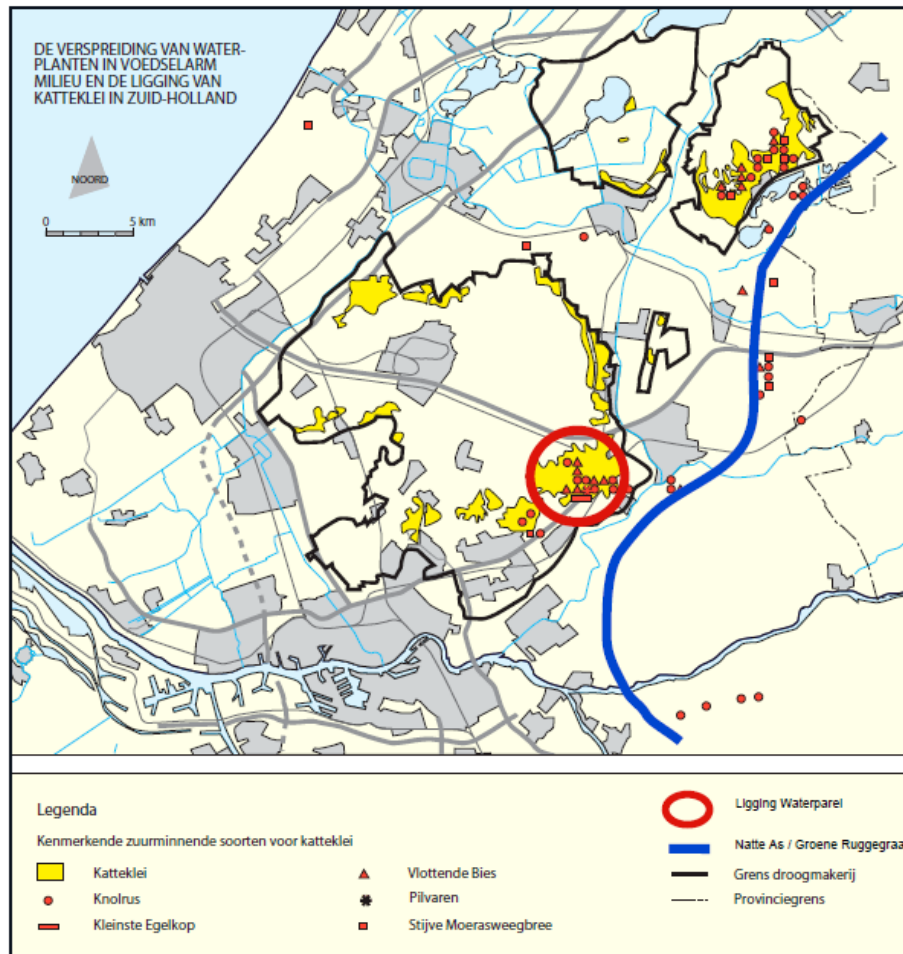


Waterparel Zuidplaspolder

In de Zuidplaspolder (Noord en Zuid) zijn de volgende typen natuurgebied te onderscheiden: de Waterparel, het Restveengebied en allerlei groenstructuren in en rondom landbouwgebied. In het gebied van de Waterparel (figuur 3.7) zijn op dit moment hoge natuurwaarden aanwezig. De bodem in dit gebied bestaat afwisselend uit veen, katteklei en kleigebied, wat resulteert in een kleinschalig, gevarieerd landschap. De Waterparel bestaat uit kleine ondiepe sloten tussen (natte) graslanden. De bijzondere kwaliteit van de Waterparel wordt bepaald door de volgende factoren: (1) het water in de sloten bestaat vooral uit regenwater, (2) de invloed van brak kwelwater lijkt gering, (3) de bodem in de sloten bestaat uit katteklei met pyriet en (4) de sloten worden regelmatig geschoond (Van Steekelenburg, et al., 2009).

Door het samenspel van deze factoren blijft de Waterparel in stand: slootjes met voedselarm regenwater waarin bijzondere waterplanten, kiezelwieren en macrofauna (kleine waterdiertjes) voorkomen (Mes, et al., 2008). De Waterparel is kwetsbaar voor de aanvoer van water van de 'verkeerde' kwaliteit (voedselrijk) en kwetsbaar voor droogvallen van de katte klei waardoor extreme verzuring kan optreden. Oppervlaktewater uit de omgeving wordt in het gebied nauwelijks of niet ingelaten. Het waterpeil is hoog ten opzichte van de omgeving. De combinatie van kalkloze klei en schoningsbeheer is bepalend voor de bijzondere ecologische kwaliteit van de sloten. In het geologisch verleden, toen er nog een natuurlijke dynamiek was tussen zeewater, regenwater en rivieren, mengde zich in deze regio humusrijk water uit de veengebieden zich met brak / zout, kalk- en sulfaatrijk zeewater (Mes, et al., 2008). Onder deze omstandigheden werd het sulfaat gereduceerd tot ijzersulfide (pyriet, FeS_2).

Figuur 3.7. De verspreiding van waterplanten in zuur en voedselarm milieu en de ligging van katteklei in Zuid-Holland. Bron: Mes et al. (2008)



Ruwe schets van de aquatische ecologie van de Waterparel

Er zijn 3 ecologische meetpunten in de waterparel waarvan een beschrijving (Cuppen, 2005) van de aquatische leefgemeenschap beschikbaar is: 00607, 00614 en 00631. In de watervegetatie komen fonteinkruiden voor als drijvend (*Potamogeton Natans*) en glanzig fonteinkruid (*Potamogeton lucens*). In de wat bredere afvoersloten in de Waterparel zijn soortenrijke water- of oevervegetatie van voedselrijk water waaronder watergentiaan (*Nymfoides peltata*). Op meetpunt 00631 vindt men een kwalitatief goede sloot met een dominantie van aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*), waarbinnen lokaal ook kranswieren (*Chara* sp., *Nitella* sp.) voorkomen. Van de macrofauna indiceren diverse soorten relatief voedselarm water met een vrij goede zuurstofhuishouding zoals de watermijten, kokerjuffers en enkele bijzondere muggen. Ook zijn er in de waterparel zeldzame watersnuitkevers te vinden. De Platte schijfhoren (*Anisus vorticulus*, een slak) is ook meerdere malen in dit gebied aangetroffen (Peereboom, et al., 2008). Voor wat betreft de vissen is de aanwezigheid van de wettelijk beschermde kleine modderkruiper (*Cobitis taenia*) en de bittervoorn (*Rhodeus sericeus amarus*) vermeldenswaardig.



3.1.4 De economische functies en landgebruik

Huidig Ruimtegebruik (figuur 3.8)

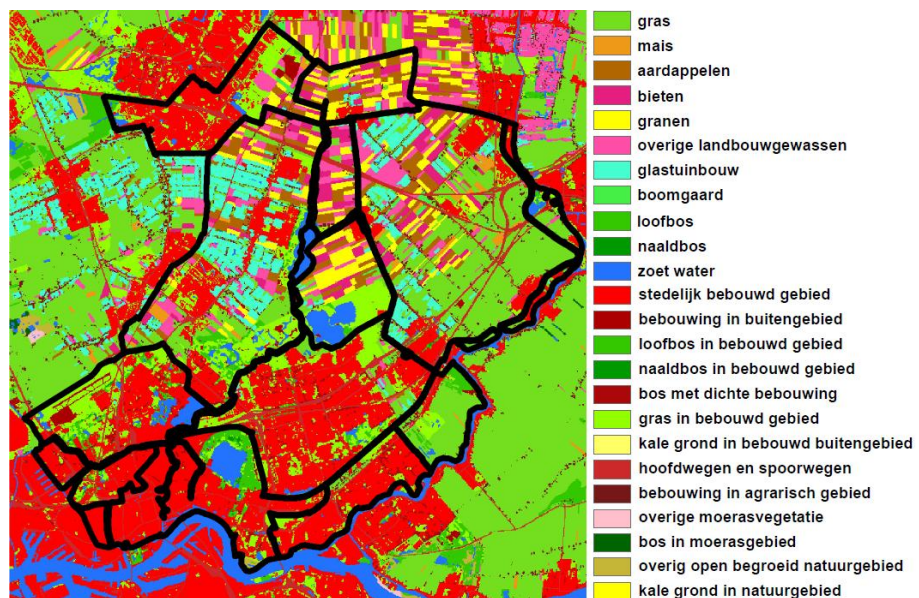
In het zuiden van Schieland bevindt zich het stedelijk bebouwd gebied, de uitlopers van Rotterdam. In polder Bleiswijk en in Zuidplaspolder-Noord is veel glastuinbouw aanwezig. In deze polders geldt een strengere chloridenorm (150 mg/l), die gebaseerd is op maatlat voor de aanwezige KRW watertypen. De aanwezige glastuinbouw gebruikt nauwelijks oppervlaktewater (pers. Med. HHSK). Akkerbouw (graan, bieten, aardappelen, overig) concentreert zich in de polder Wilde Veenen, Zuidplaspolder-Noord, de Tweemanspolder en de Eendragtspolder.

37

Toekomstig ruimtegebruik

In de Eendragtspolder zal een groot deel van de aanwezige landbouwgronden verdwijnen om extra waterbergingscapaciteit (klimaatadaptatie) te realiseren, in combinatie met natuurontwikkeling en de aanleg van een roeibaan (recreatie, economie). In de bestemmingsplannen voor de Zuidplaspolder worden voor de periode 2010-2020 de volgende ontwikkelingen aangekondigd: de bouw van ongeveer 15.000 woningen, de aanleg van 125 hectare bedrijfsterrein, de bouw van 200 hectare nieuwe kassen en de hervestiging van 80 hectare bestaande kassen en verbetering van de infrastructuur (Van Steekelenburg, et al., 2009).

Figuur 3.8, Huidig ruimtegebruik in de Schieland polder (Bron: LGN5).



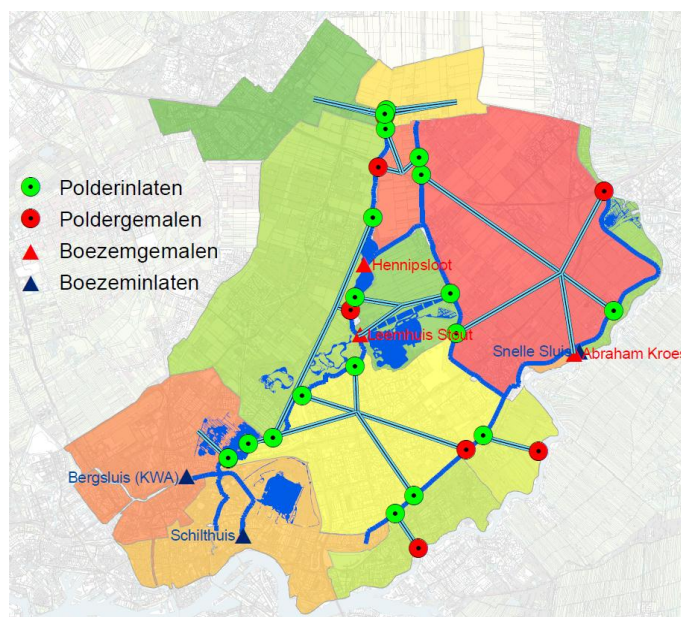
4 Het SOBEK model van het boezemstels van Schieland

4.1 Schematisering

Het SOBEK model is als volgt geschematiseerd (zie ook Figuur 4.1):

- Gedetailleerde ligging en dimensie van het boezemsysteem.
- De polderwaterlopen zijn per polder benaderd als een grote waterbak met een diepte van 0.5 meter en een openwateroppervlak dat volgt uit data van HHSK. In deze grote waterbak mengt het chloride zich instantaan.
- Elke polder is via tenminste 1 inlaat en tenminste 1 gemaal met het boezemsysteem verbonden. Uitzonderingen zijn de polders Esse-, Gans en Blaardorp en Capelle a/d IJssel waarvan het overtollige water gelijk wordt uitgeslagen op de Hollandse IJssel, net zoals in een deel van de Zuidplaspolder dat via gemaal Abraham Kroes gelijk water uitslaat op de Hollandse IJssel.
- Het boezemsysteem heeft 3 innamepunten:
 - Schilthuis (Nieuwe Maas),
 - Snelle Sluis (Hollandse IJssel) en
 - Bergsluis (KWA),
- Het boezemsysteem heeft 2 uitslaggemalen
 - Schilthuis (Nieuwe Maas)
 - Abraham Kroes (Hollandse IJssel)
- Er zijn 2 interne gemalen. Er is aangenomen dat via gemaal Hennipsloot de Rotte en de Ringvaart water kunnen uitwisselen. Gemaal Leemhuis-Stout doet dit via een lager gelegen hoofdwatgang.
- De ligging en capaciteit van de polder- en boezemgemalen volgt uit data van HHSK.

Figuur 4.1. De Schieland polder zoals geschematiseerd in het SOBEK model. NB1: gemaal Schilthuis doet dienst als zowel inlaat als uitlaat. NB2: Polderinlaten zijn niet getoond.





In Rotterdam wordt een substantieel deel van het overtollige water via rioolwaterzuiveringsinstallaties uitgeslagen op de rivieren. Het model houdt hier rekening mee. De Rotterdam polder, polder Capelle en Oostpolder zijn niet meegenomen in het model omdat ze niet of nauwelijks in verbinding staan met het boezemsysteem. Van de polder Schiebroek (in dit rapport ook wel 'Taakgebied Boezemwater' genoemd) is alleen het deel meegenomen dat in directe verbinding staat met het boezemstelsel. Dit is ongeveer 40% van het totale oppervlak.

4.2 Hydrologische randvoorwaarden en chloride

Het model onderscheidt de volgende hydrologische randvoorwaarden:

- ▽ Bovenrand: uitwisseling van water tussen atmosfeer en open water via neerslag en verdamping (KNMI station Rotterdam)
- ▽ Onderrand/laterale rand: uitwisseling van water tussen landsysteem en polderwaterlopen via uitspoeling en infiltratie, beïnvloed door de kwel/wegzijgings situatie (NHI versie 2.1; (Hoogewoud, et al., 2011))
- ▽ Zijrand: uitwisseling tussen boezemwater en (rivier)water om het gewenste waterpeil in boezem en polders te verkrijgen

Neerslag en verdamping

De verdamping van open water is berekend uit de referentiegewasverdamping gemeten bij KNMI station Rotterdam, met behulp van een maandelijkse conversiefactor (CTV & Werkgroep herziening cultuurtechnisch vademecum, 2000), de voor en nadelen van deze methode om de verdamping te bepalen staan beschreven in eerdere studies voor STOWA (Elbers, et al., 2010; Schuurmans & Droogers, 2010).

Uitwisseling tussen landsysteem en polderwaterlopen

Wat betreft het waterbeheer is het in 2003 gevoerd peilbeheer opgelegd aan het model. Dit beheer is afgeleid uit wekelijkse peilmetingen van HHSK op een aantal locaties per polder en in het boezemsysteem (zie Figuur A.2 in bijlage A). Voor de polders is aangenomen dat het gemiddelde waterpeil in 2003 overeenkomt met een gemiddelde waterdiepte van 0.5 meter in de polderwaterlopen.

Uitwisseling tussen boezemwater en rivieren

Ook opgelegd aan het model zijn de periodes in 2003 waarop de inlaat van water vanuit de Nieuwe Maas (Schilthuis) en Hollandse IJssel (Snelle Sluis) is stopgezet vanwege overschrijding van de chloride inlaatnorm van 200 mg/l¹¹. Net

¹¹ In tijden van waterschaarste kan, via de verdringingsreeks, toch water worden ingelaten met een chloridegehalte > 200 mg/l. Dit is o.a. ter bescherming van de stabiliteit van de aanwezige veenkades in het beheersgebied van Schieland.

zoals de periode waarin er water is ingelaten via Bergsluis (zie Tabel 4.1). De KWA-procedure was van kracht tussen 9 augustus tot en met 10 oktober voor de waterschappen Rijnland, Schieland & de Krimpenerwaard en Delfland (Schultz van Haegen-Maas Geesteranus 2004). Bij Bergsluis is er dus korter gebruik gemaakt van de KWA-procedure.

Tabel 4.1, Inlaatbeheer bij de innamepunten van boezemstelsel in Schieland in 2003.Bron: Deze data zijn afgeleid uit de gemaalgegevens van SSHK.

Gemaal	Handeling	Periode handeling
Schilthuis	Inlaatstop	15 jul - okt
Snelle sluis	Inlaatstop	12 aug - 30 sep
Bergsluis	Inlaat actief (KWA-procedure)	2 aug - 30 sep

De bronnen van water in het model zijn voorzien van chlorideconcentraties:

- ▽ Inlaatwater Hollandse IJssel en Nieuwe Maas: berekend met het SO-BEK-NDB1_1_0 model (Kraaijeveld, 2003; Van der Linden & Van Zetten, 2001). Dit model is onderdeel van het delta instrumentarium (versie 0.1) (zie Figuur 4.2)
- ▽ Inlaatwater Bergsluis: uit metingen van HHSK (zie Figuur 4.2)
- ▽ Neerslag: 6 mg/l zoals gebruikt in de Natuurplanner (PBL) afgeleid uit monitoringdata (Van der Swaluw, et al., 2010)
- ▽ Uitspoelingswater: afgeleid per polder uit metingen (HHSK) in de polderwaterlopen in de maanden januari t/m maart 2003, het uitspoelingseizoen (zie Tabel 4.2).

Tabel 4.2, Aan het model opgelegde chloride concentraties van het uitspoelende water (NHI), op basis van gemeten chlorideconcentraties in de polderwaterlopen.

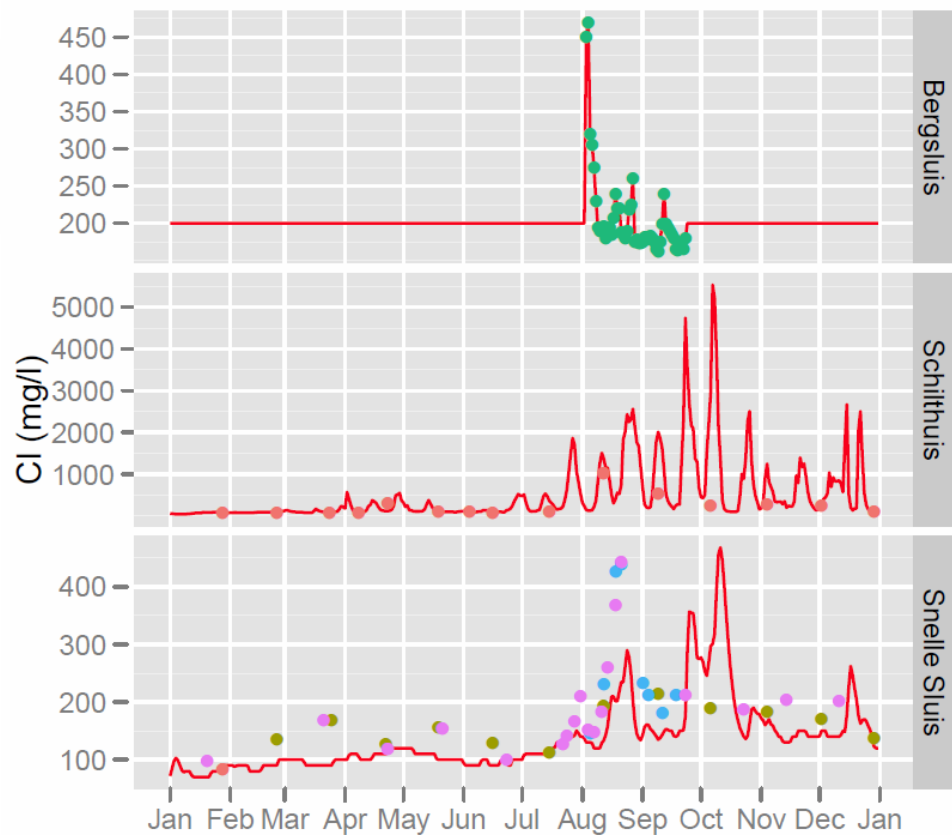
Cl (mg/l)	Alexander	Binnenwegse	Bleiswijk	Capelle a/d/ IJssel	Eendragtspolder	EGB	Schiebroek	Tweemans	De Wilde Veenen	Zuidplaspolder
Aantal meetlocaties	14	2	14	8	5	4	22	4	1	4
Januari 2003 (gemeten)	153	114	139	76	186	79	106	64	56	132
Februari 2003 (gemeten)	207	120	161	92	187	109	111	72	52	216
Maart 2003 (gemeten)	205	117	175	94	218	115	120	88	51	242
Opgelegd aan model	188	117	158	87	197	101	112	75	53	197



metingen

- Brienoord (RWS)
- Gouda Voorhaven (RWS)
- Noorderkanaal (HHSK)
- Snelle Sluis (HHSK)
- Veer Moordrecht (RWS)

41



Figuur 4.2. Aan het model opgelegde chloride concentraties in 2003 bij de inlaatpunten (rode lijn) berekend met het Deltamodel, vergeleken met metingen van HHSK en de DONAR database (RWS). N.B. 1: Chloride bij Bergsluis is niet berekend met Deltamodel, maar opgelegd op basis van metingen. N.B. 2: Voor Schilthuis zijn alleen de berekende concentraties bij hoogtij weergegeven omdat alleen bij hoogtij water kan worden ingelaten vanuit de Nieuwe Maas. Daarom is de dynamiek in chlorideconcentraties door het getij niet zichtbaar.

4.3 Kalibratie

Het SOBEK model is gekalibreerd voor het jaar 2003, het in deze studie gekozen referentiejaar omdat het een droog jaar was waarin veel rivierwater de Schieland polder is ingelaten. Het model is gekalibreerd op metingen van ingelaten en uitgeslagen debieten, op polderniveau en boezemniveau. Vervolgens is het model getoetst aan chloridemetingen in de polders en het boezemstelsel.

De kalibratie van het model werd bemoeilijkt door het ontbreken van inlaatgegevens. Op polderniveau is weinig bekend over de ingelaten debieten vanuit de boezem via particuliere inlaten en reguliere inlaatpunten. Ook op boezemniveau is niet bekend hoeveel water is ingelaten vanuit de Nieuwe Maas en de Hollandse IJssel. De ingelaten hoeveelheid water kon ook niet worden afgeleid uit gemeten chloride concentraties in het boezemwater, gezien de beperkte re-

solutie (in ruimte en tijd) van de metingen. Alleen de waterinlaat bij Bergsluis (KWA-procedure) in 2003 is gemeten.

Gegeven deze missende data is, via een stapsgewijze aanpak (zie Hoofdstuk 2) op basis van de wel beschikbare data (polderuitslag en inlaat bij Bergsluis), geschat wat de waterbehoefte van de Schieland polder was in 2003 en hoeveel water daarvoor moest worden ingelaten vanuit de Nieuwe Maas, de Hollandse IJssel en Bergsluis. Om de modelresultaten zo goed mogelijk de gemeten polderuitslag en inlaat bij Bergsluis te laten benaderen is:

- ▽ de jaarlijkse kwel/wegzijgingsflux, zoals berekend door het NHI, aangepast (zie hoofdstuk 2)
- ▽ de doorspoelbehoefte van de niet stedelijke polders geschat (zie hoofdstuk 2)

Er is aangenomen dat de jaarlijkse doorspoelbehoefte minimaal 0.6 m³/s bedraagt, zoals ook gerapporteerd is door het waterschap in de knelpuntenanalyse Zoetwatervoorziening West-Nederland (Anoniem, 2011) in bijlage 25 van het bijbehorende achtergrond document.

Tabel 4.3, Ingeschatte doorspoelbehoefte en gecorrigeerde kwel/wegzijgingsflux vergeleken met door het NHI berekende waarden en inschattingen door HHSK.

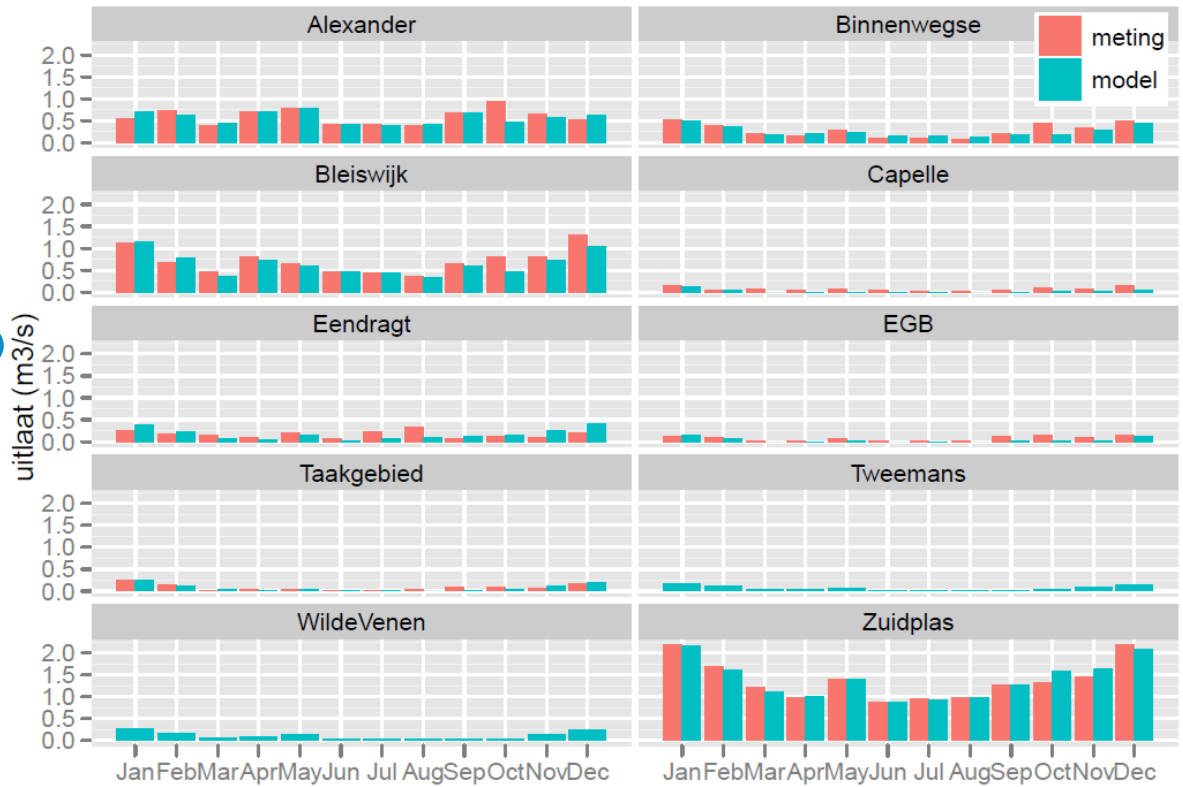
	Jaargemiddelde kwel (+)/wegzijging (-) (mm/dag)			Doorspoelbehoefte (m ³ /s)	
	HHSK (De Smit, 1993)	NHI	gekalibreerd model	gehele jaar	additioneel (zomer)
Polder Bleiswijk	0.18	0.31	0.11	0.19	0.34
Binnenwegse Polder	0.49	0.23	0.61	0.07	0.04
Polder De Wilde Veenen	0.39	0.19	0.19	0.04	
Tweemanspolder	-0.33	0.13	0.13	0.02	
Eendragtspolder	0.34	0.32	0.06	0.05	0.05
Zuidplaspolder	0.43	0.83	1.61	0.23	0.27
Polder Prins Alexander	1.33	0.89	1.33		0.32
Polder EGB	-0.13	-0.74	-0.37		
Schiebroek		0.18	0.20		
Capelle a/d IJssel		-0.36	-0.36		

De met het gekalibreerde model berekende uitslag en inlaat van water op polder- en boezemniveau is vergeleken met de beschikbare metingen (Figuur 4.3 t/m Figuur 4.5). Ook zijn met het gekalibreerde model jaarbalansen opgesteld voor het oppervlaktewater, per polder (Figuur A.3 in bijlage A) en voor de gehele Schieland polder (tabel A.1 in bijlage A).

Met het gekalibreerde model is de doordringing van chloride in het boezemsysteem berekend (Figuur 4.6) en vergeleken met metingen (Figuur 4.7). De doordringing is weergegeven in de zomerhalfjaargemiddelde chlorideconcentratie in het boezemsysteem. In Bijlage A is tevens de maximale chlorideconcentratie in het boezemsysteem te zien (Figuur A.4), evenals of de zomerhalfjaargemid-

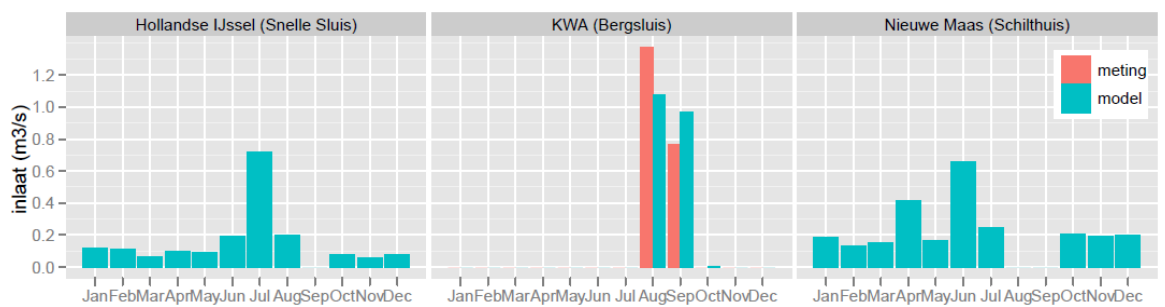


delde chloridenorm van 200 mg/l wordt overschreven (Figuur A.5) en hoeveel dagen in de zomer de norm van 200 mg/l wordt overschreden (Figuur A.6).

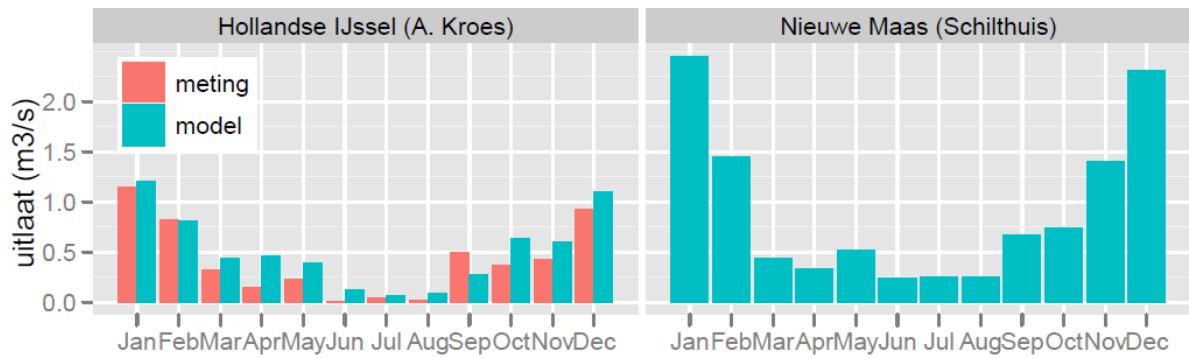


43

Figuur 4.3. Maandgemiddelde debiet (m^3/s) aan uitgeslagen water per polder, zoals gemeten en berekend met het gekalibreerde model. (Taakgebied = Schiebroek).

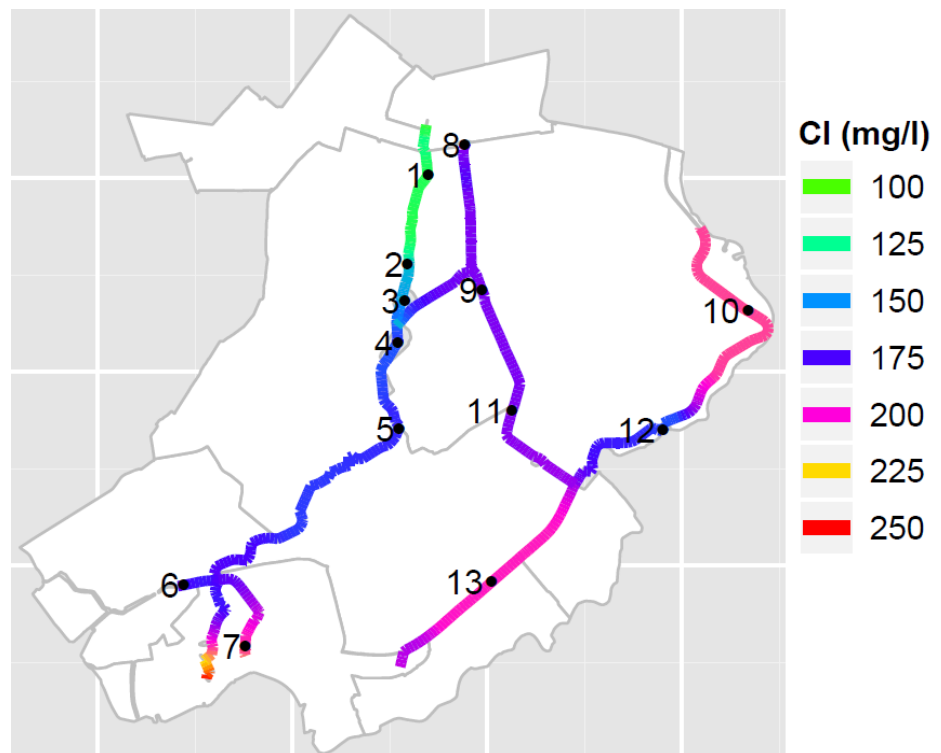


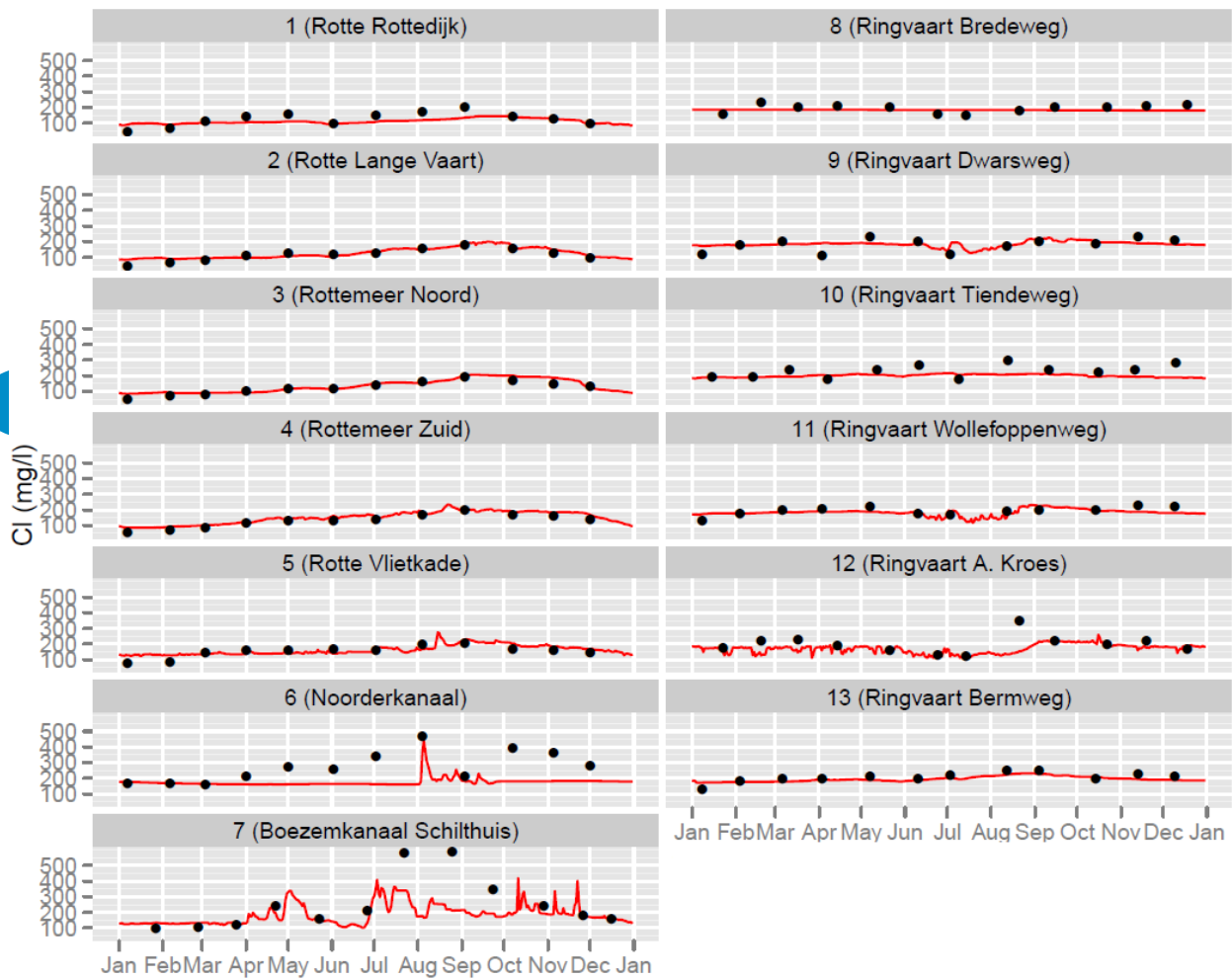
Figuur 4.4. Maandgemiddelde debiet aan ingelaten water in de boezem, zoals gemeten en berekend met het gekalibreerde model.



Figuur 4.5, Maandgemiddelde debiet (m³/s) aan uitgeslagen water door de boezem, zoals gemeten en berekend met het gekalibreerde model.

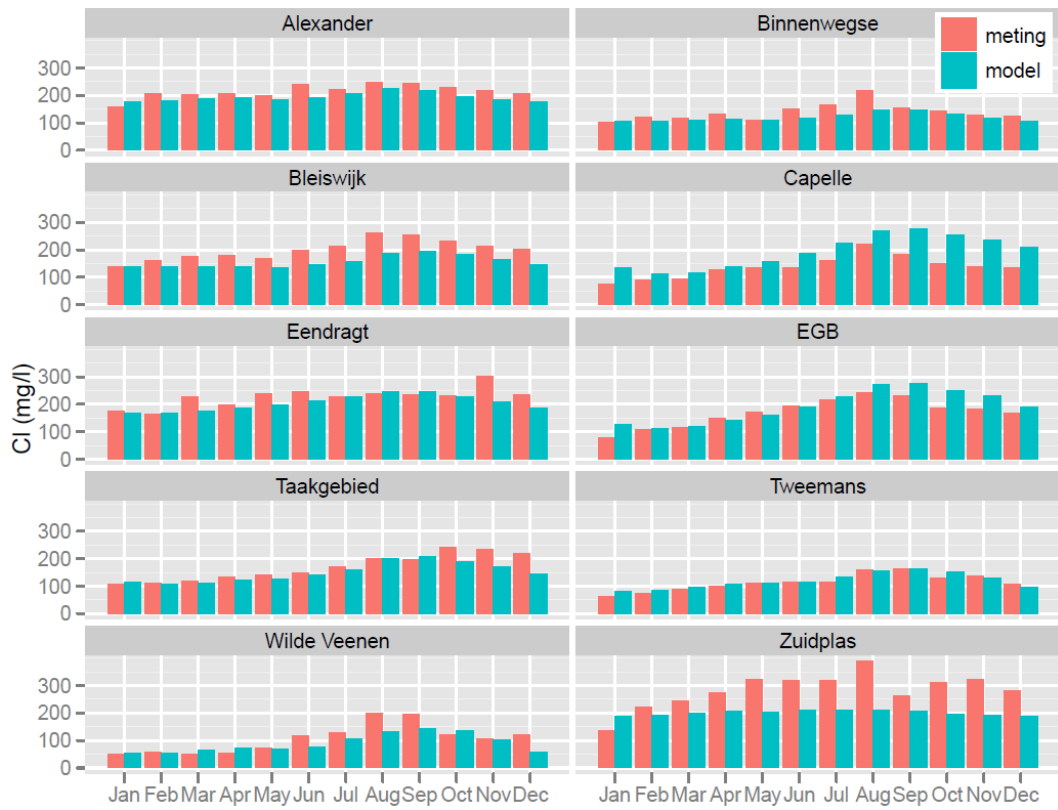
Figuur 4.6, Met het model berekende zomerhalfjaargemiddelde chlorideconcentratie in 2003.





Figuur 4.7, Berekende chloride concentraties in 2003 in de boezem op de in Figuur 4.6 weergegeven locaties, vergeleken met metingen van HHSK (zwarte punten).

In Figuur 4.7 is te zien dat het model de gemeten chlorideconcentraties in het boezemsysteem goed benadert, en verbeterd ten opzichte van eerdere modelstudies (Bulsink, 2010; Ogink, 2010). Uitzondering is de locatie Noorderkanaal nabij Bergsluis waar in periodes dat er geen water wordt ingelaten de gemeten chlorideconcentraties vaak hoger zijn dan de modelresultaten. Dit komt mogelijk doordat er bij het schutten van de sluis zouter water vanuit Delfland in het Noorderkanaal komt dat de chlorideconcentraties in het Noorderkanaal verhoogt, voornamelijk tijdens droge periodes. Ook bij inname locatie Schilthuis worden hogere concentraties gemeten dan gemodelleerd in de periode waarin geen water wordt ingelaten (inlaatstop). In Figuur 4.8 zijn de berekende chlorideconcentraties in de polderwaterlopen vergeleken met metingen in 2003. Het vergelijk is niet geheel eerlijk vanwege de vereenvoudigde wijze waarop de polderwaterlopen in het model zijn geschematiseerd; als een grote waterbak per polder waarin de chlorideconcentraties niet variëren in de ruimte.



Figuur 4.8. Maandgemiddelde chlorideconcentraties in de polderwaterlopen in 2003, gemeten en gemodelleerd. (Taakgebied = Schiebroek).



5 Verziltngsscenario's voor klimaatverandering en waterbeheer

Bij gelijkblijvend waterbeheer nemen de risico's op externe verziltng in de Schieland polder naar verwachting toe. Droge zomers zullen vaker voorkomen (zie Tabel 5.1) waardoor de waterbehoefte van de polder toeneemt, en daarbij zal het in te laten rivierwater zouter worden door de oprukkende zouttong vanuit zee als gevolg van een stijgende zeespiegel en dalende zomerafvoer van de rivieren.

47

Om de toekomstige externe verziltng in de Schieland polder te kwantificeren is het gekalibreerde SOBEK model van de Schieland polder voor het droge jaar 2003 getransformeerd naar het jaar 2050, voor de KNMI klimaatscenario's G en W⁺. Met het oog op externe verziltng is het G scenario naar verwachting het meest milde scenario en het W⁺ het meest extreme scenario. Vandaar dat deze scenario's zijn gekozen voor de berekeningen. Het jaar 2003 is gebruikt als referentiejaar omdat dit een droog jaar was waarin veel rivierwater de polder moest worden ingelaten. Een droge zomer zoals in 2003 komt in het huidige klimaat gemiddeld eens in de 10 jaar voor, bij het G scenario zal dit eens in de 8 jaar zijn, bij het W⁺ scenario eens in de 2 jaar (zie Tabel 5.1).

Er zijn twee waterbeheersscenario's toegepast voor elk klimaatscenario, wat in totaal 4 scenario's oplevert. Het ene waterbeheersscenario is een voortzetting van het huidige waterbeheer; de inlaat van water vanuit de Nieuwe Maas en Hollandse IJssel stopt als het water de inlaatnorm van 200 mg Cl/l overschrijdt. Het andere waterbeheersscenario gaat uit van een hogere inlaatnorm, namelijk 600 mg Cl/l. Dit betekent dat er langer water kan worden ingelaten vanuit de grote rivieren en dat de KWA-procedure minder vaak hoeft te worden ingezet, met als gevolg dat de Schieland polder zouter wordt, al is de vraag hoeveel.

Tabel 5.1. Karakteristieken van de vier KNMI'06 klimaatscenario's rond 2050 (Beersma, et al., 2004; Van den Hurk, et al., 2006; Versteeg, et al., 2005).

2050	G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging	+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Verandering luchtstromingspatronen West Europa	nee	ja	nee	Ja
Gemiddelde wintertemperatuur	+0,9°C	+1,1°C	+1,8°C	+2,3°C
Gemiddelde zomertemperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
Absolute Zeespiegelstijging	15-25 cm	15-25 cm	20-35 cm	20-35 cm
Gemiddelde neerslaghoeveelheid in zomer	+6%	-19%	+12%	-38%
Gemiddelde neerslaghoeveelheid in winter	+7%	+14%	+14%	+28%
Potentiële verdamping in zomer	+7%	+15%	+14%	+30%

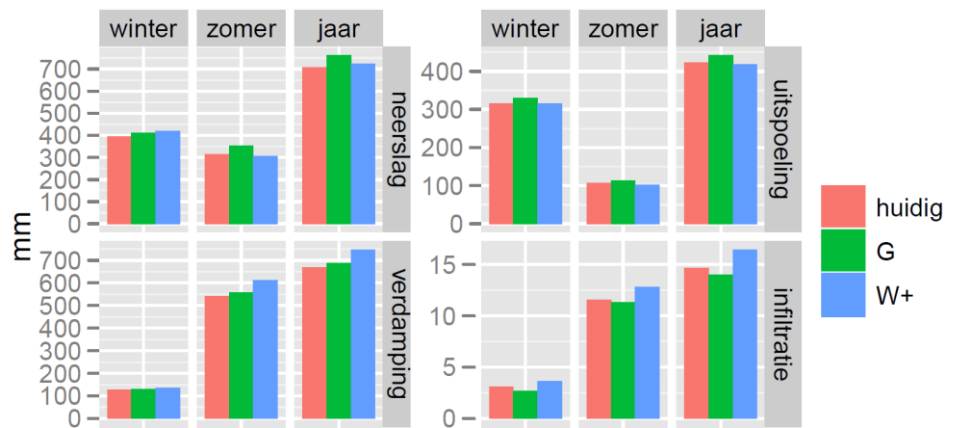
Scenario's voor het neerslagtekort voor verschillende typen jaren in 2050					
	Huidig	G	G+	W	W+
Gemiddeld neerslagtekort	144 mm	151 mm	179 mm	158 mm	220 mm
		Herhalingstijd (jaar)			
Gemiddeld (1967)	151 mm	3	1,5	2	1,2
Matig droog (1996)	199 mm	7	3	5	2
Droog (2003)	217 mm	10	8	7	2
Zeer droog (1959)	352 mm	71	52	40	20
Extreem droog (1976)	361 mm	89	64	47	22

5.1 Hydrologische randvoorwaarden en chloride

De klimaatscenario's werken als volgt door op de randvoorwaarden (hydrologie en chloride) van het model:

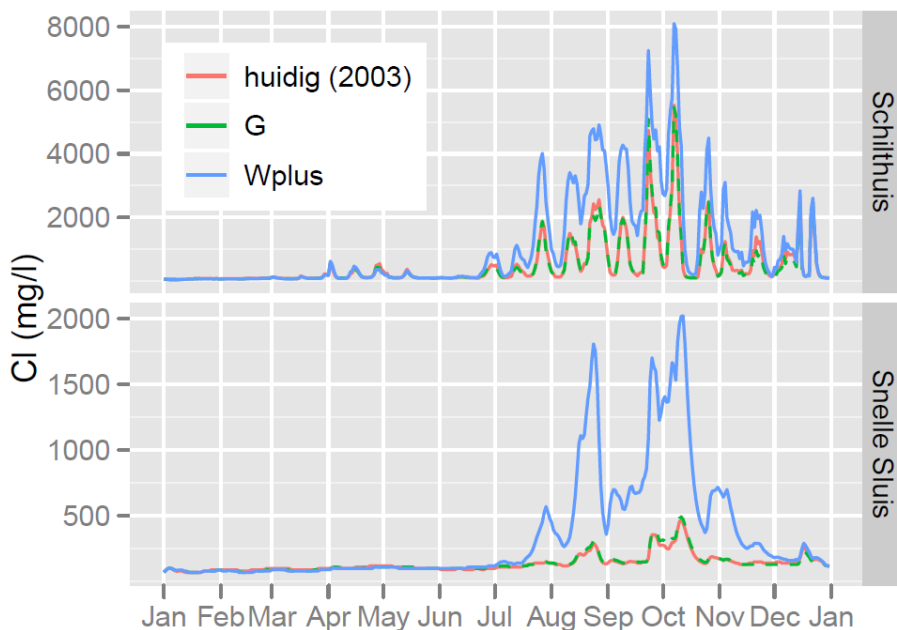
- Bovenrand: andere hoeveelheid neerslag en verdamping op open water (Figuur 5.1)
- Onderrand/laterale rand: andere hoeveelheid uitspoelend en infiltrerend water als gevolg van andere neerslag en verdamping (Figuur 5.2)
- Zijrand: andere chlorideconcentraties van het in te laten water als gevolg van het oprukken van de zouttong vanuit zee (Figuur 5.1)

Kijkend naar Figuur 5.1 en Figuur 5.2 valt op dat het W⁺ scenario leidt tot de grootste verandering in condities, niet zozeer in de hydrologische condities maar vooral in het zoutgehalte van het in te laten rivierwater. Voor het G scenario verandert er weinig ten opzichte van de situatie bij het huidige klimaat (referentiejaar 2003).



Figuur 5.1. Neerslag en referentiegewasverdamping in het toekomstige klimaat (G en W⁺, zichtjaar 2050) door transformatie van gemeten waarden in 2003 door KNMI stations in/nabij de Schieland polder. De veranderde neerslag en verdamping leiden tot veranderde uitspoeling en infiltratie, berekend door het NHI.

De hogere chlorideconcentraties van het rivierwater onder het W⁺ scenario bij de inlaatpunten leidt ertoe dat op andere momenten de inlaat moet worden stopgezet, afhankelijk van de gehanteerde inlaatnorm voor chloride (Tabel 5.2). Het hanteren van de huidige inlaatnorm van 200 mg/l leidt voor het W⁺ scenario voor het eerder en langer sluiten van de inlaatpunten, waardoor de KWA-procedure eerder en langer moet worden toegepast. Verhoging van de inlaatnorm naar 600 mg/l leidt tot het later en korter sluiten van de inlaatpunten, vooral voor het G scenario waarin de inlaat bij Snelle Sluis niet hoeft te worden stopgezet waardoor de KWA-procedure niet hoeft te worden ingezet. Aanvullend is in Tabel 5.3 te zien hoeveel dagen het rivierwater bij de inlaatpunten de chloride inlaatnorm overschrijdt, uitgedrukt in een percentage gedurende het zomerhalfjaar.



Figuur 5.2. Toekomstige chloridegehalten van de Nieuwe Maas (bij hoogtij) en de Hollandse IJssel bij de inname locaties, berekend met het Deltamodel voor het G en W+ klimaatscenario met zichtjaar 2050 en referentiejaar 2003. N.B. Voor Schilthuis zijn alleen de berekende concentraties bij hoogtij weergegeven omdat alleen bij hoogtij water kan worden ingelaten vanuit de Nieuwe Maas. Daarom is de dynamiek in chlorideconcentraties door het getij niet zichtbaar.

Voor het inlaatpunt Bergsluis is aangenomen dat het toekomstige in te laten water dezelfde chlorideconcentratie heeft als in 2003. Het is de vraag hoe valide deze aanname is. Een te verwachten toename van de interne verziltig door de klimaatverandering - via zoute kwel - in de beheersgebieden van Rijnland en Delfland zal het chloridegehalte van het bij Bergsluis in te laten water vermoedelijk verhogen. Dit effect is echter moeilijk te kwantificeren, ook omdat het water een lange route heeft afgelegd voordat het bij Bergsluis arriveert. Er is in de scenario's aangenomen dat het peilbeheer niet verandert ten opzichte van de huidige praktijk (2003) en dat het chloridegehalte van het uitspoelende water ook niet verandert.

Tabel 5.2. Momenten waarop de inlaat van water vanuit de Nieuwe Maas en Hollandse IJssel moet worden stopgezet, bij het G en W+ scenario (zichtjaar 2050) bij verschillende inlaatsnormen voor chloride. Hieruit volgt wanneer de KWA-procedure van kracht is. Referentiejaar is 2003. De data voor 2003 (huidig) zijn afgeleid uit maaldegevens van HHSK.

	Inlaatstop Schilthuis	Inlaatstop Snelle sluis	Inlaat bij Bergsluis (KWA)
Huidig (maaldegevens)	15 jul - okt	12 aug - 30 sep	2 aug - 30 sep
G, 200 mg/l (model)	11 jul - 25 dec	16 aug - 19 okt	16 aug - 19 okt
W+, 200 mg/l (model)	23 jun - 25 dec	20 jul - 28 nov	20 jul - 28 nov
G, 600 mg/l (model)	24 jul - 23 dec	Nooit	Nooit
W+, 600 mg/l (model)	27 jun - 23 dec	14 aug - 6 nov	14 aug - 6 nov

Tabel 5.3. Percentage dagen (%) in het zomerhalfjaar (180 dagen) dat het rivierwater bij de inlaatpunten de chloridenorm overschrijdt, bij het G en W+ scenario, zichtjaar 2050. Referentiejaar is 2003.

	Schilthuis	Snelle sluis
Huidig (200 mg/l)	55	10
G, 200 mg/l	55	10
W+, 200 mg/l	63	40
G, 600 mg/l	23	0
W+, 600 mg/l	46	22

5.2 Toekomstige verzilting in het boezemsysteem

Uit Figuur 5.1 en tabel 5.4 is op te maken dat het G scenario niet leidt tot extra verzilting in het boezemsysteem t.o.v. de huidige situatie (referentiejaar 2003), zelfs niet als de chloride inlaatnorm wordt verhoogd naar 600 mg/l. Het uitblijven van verzilting is toe te schrijven aan de weinig veranderde hydrologische condities in het G scenario en de vrijwel dezelfde chlorideconcentraties van het inlaatwater (zie paragraaf 5.1).

Het W⁺ scenario leidt wel tot verzilting in het boezemsysteem, althans in de Rottemeren en de Ringvaart, zeker wanneer de chloride inlaatnorm wordt verhoogd naar 600 mg/l. Het aantal dagen waarop de 200 mg/l chloridenorm wordt overschreden stijgt dan t.o.v. de huidige situatie met 0% in de Rotte boezem, 35% in de Ringvaart en 160% in de Rottemeren. De hogere specifieke chloridenormen van de waterlichamen Rottemeren (250 mg/l) en de Ringvaart (300 mg/l) worden op slechts enkele dagen in het zomerhalfjaar overschreden.

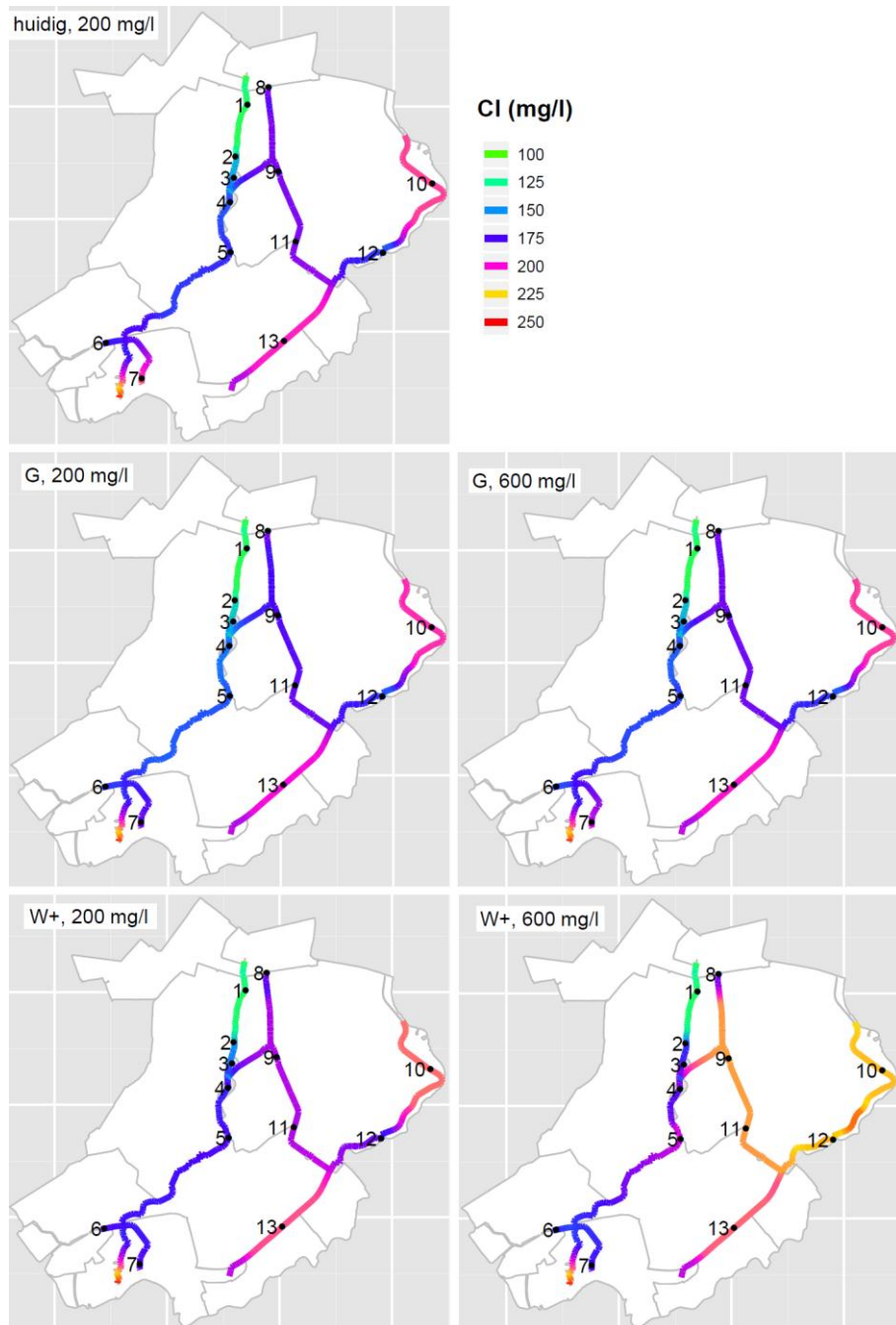
In Bijlage A is tevens voor het boezemsysteem te zien welk effect de scenario's hebben op de maximale chlorideconcentratie (Figuur A.4), op hoeveel dagen de chloridenorm van 200 mg/l wordt overschreden (Figuur A.6) en of de chloride-norm van 200 mg/l zomerhalfjaargemiddeld wordt overschreden (Figuur A.5).

Tabel 5.4. Percentage dagen in het zomerhalfjaar dat de norm van 200 mg/l, alsmede de waterlichaam specifieke chloridenorm (Rotte = 200 mg/l, Rottemeren = 250 mg/l en Ringvaart = 300 mg/l), wordt overschreden. Referentiejaar is 2003. NB: Het gaat om een ruimtelijk gemiddelde per waterlichaam.

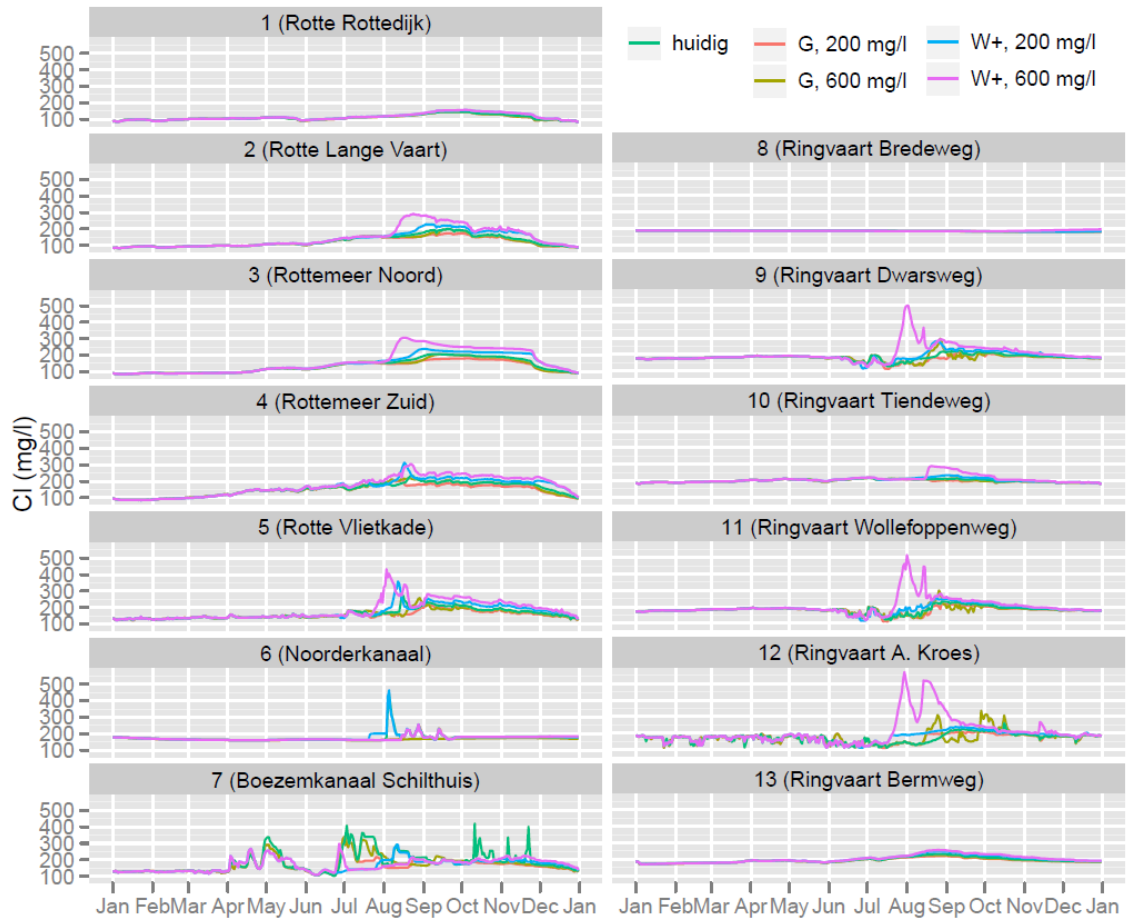
	Rotte boezem	Rottemeren		Ringvaart	
	200 mg/l	200 mg/l	250 mg/l	200 mg/l	300 mg/l
Huidig (200 mg/l)	25	19	0	46	0
G, 200 mg/l	13	1	0	38	0
W+, 200 mg/l	22	41	5	54	0
G, 600 mg/l	16	13	0	40	0
W+, 600 mg/l	25	50	24	62	8



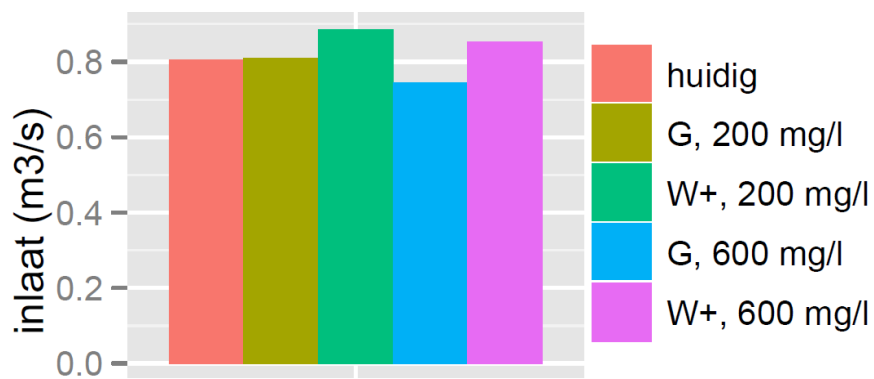
Figuur 5.3, Met het model berekende zomerhalfjaargemiddelde chlorideconcentratie, voor de 2 klimaatscenario's (zichtjaar 2050) onder 2 chloride inlaatnormen (200 en 600 mg/l), vergeleken met de huidige situatie (referentiejaar is 2003).



De chlorideconcentratie in het boezemstelsel piekt op momenten waarop veel en 'zout' rivierwater wordt ingelaten (Figuur 5.4). Met name voor het 'W+', 600 mg/l' scenario is dit zichtbaar en is het effect groter naarmate de locatie dichterbij een inlaatpunt ligt, waar de piekconcentratie kan oplopen tot 600 mg/l. De hoeveelheid in te laten water - de waterbehoefte van de polder - is afgezien van de klimaatscenario's ook afhankelijk van de beheerscenario's (zie Figuur 5.5). Verhoging van de chloride inlaatnorm naar 600 mg/l betekent dat de inlaatpunten langer actief zijn waardoor de polders met een grote waterbehoefte sneller en effectiever van water kunnen worden voorzien dan wanneer slechts één van de inlaten actief is. Dit resulteert in minder in te laten water.



Figuur 5.4, Berekende toekomstige chloride concentraties in de boezem op de in Figuur 5.3 Error! Reference source not found. weergegeven locaties, voor de 2 klimaatscenario's en 2 chloride inlaatnormen, vergeleken met de berekende situatie in het huidige klimaat. Referentiejaar is 2003.



Figuur 5.5, Waterbehoefte van Schielandpolder, gemiddeld over het zomerhalfjaar, per scenario.



6 De betekenis van de scenario's voor de ecologische KRW doelen

6.1 Chloridepiekbelasting en kaderrichtlijn Water

Tabel 6.1 illustreert dat op dit moment geen van de waterlichamen in de Schieland boezem voldoet aan de ecologische norm (in de KRW terminologie het Goed Ecologisch Potentieel ofwel GEP). De kwaliteit is meestal *slecht* of *ontoe-reikend*. De belangrijkste oorzaken zijn de belasting met voedingsstoffen stikstof en fosfaat en het intensieve beheer van het water, waardoor er minder waterplanten, vis en andere organismen voorkomen.

53

Knock-out risico chloride voor KRW doelen in het heden (referentiejaar 2003)

De chlorideconcentraties liggen in bijna alle KRW waterlichamen in dit beheersgebied NIET ten grondslag aan deze *slechte* of *ontoe-reikende* kwaliteit. Uitzondering is het waterlichaam in de Zuidplaspolder-Noord waar het chloridegehalte behoort tot een van de slechtst scorende chemische kwaliteitselementen. In dit gebied geldt echter ook een strengere KRW norm (150 mg/l chloride).

In de zomer van 2003 werd de algemene chloridenorm periodiek overschreden in het oostelijk deel van het boezemsysteem (Ringvaart) in de modelresultaten (figuur 6.1) en de metingen (figuur 3.4). In de polders werd in 2003 in de Zuidplaspolder (Noord-Zuid) deze norm overschreden (metingen, zie figuur 3.4). Ook in 2006, het tweede deel van het zomerseizoen was toen relatief nat) werd in dit gebied de norm overschreden blijkt uit de metingen (figuur 3.3). Met andere woorden, ook in jaren met voldoende zoet doorspoelwater uit de Hollandse IJssel is het in deze polder al moeilijk om aan de KRW norm te voldoen.

In het westelijk deel van het boezemsysteem (Rotte/Rottemeren) zijn er in een droog jaar, zoals 2003, vrijwel geen normoverschrijdingen.

Tabel 6.1, Ecologische beoordeling en doelstellingen voor de KRW. Gebaseerd op HHSK (2009)

Legenda

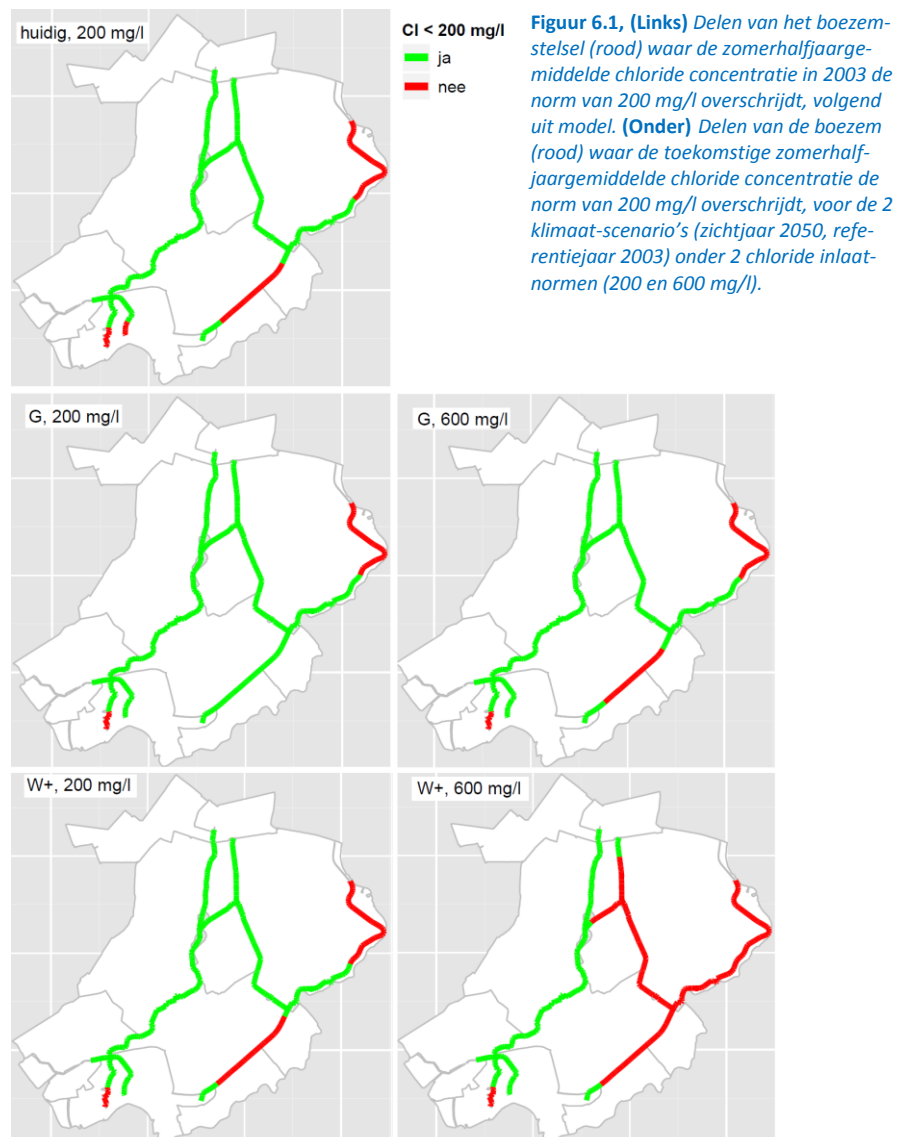


Waterlichaam	Huidig situatie totaal (KRW)	Prognose 2015	Prognose 2027	Slechtst scorende biologische kwaliteits element (huidig)	Chloride huidig (norm)
				Slechtst scorende fysisch chemische kwaliteitselement (huidig)	
Sloten in Polders Schieland					
Binnenwegse polder (M1a)				Overige waterflora (EKR)	150
				Totaal fosfaat	
Polder Bleiswijk (M1a)				Overige waterflora (EKR)	150
				Totaal fosfaat, totaal Stikstof	
Zuidplaspolder Noord (M1a)				Macrofauna, overige waterflora, chloride, P, N	150
Zuidplaspolder Zuid (M8)				Macrofauna, overige waterflora, N, O2 verz. (zomer)	300
Boezems Schieland					
Rotte boezem (M14)				Overige waterflora, fytoplankton	200
				N	
Rotte meren (M27)				Overige waterflora	250
				N, Doorzicht	
Ringvaart (M10)				Overige waterflora,	300
				Doorzicht	
Vaart Bleiswijk (M10)				Vis, fytoplankton, overige waterflora	300
				P	
Stedelijk gebied					
Prins Alexander Polder (M3)				Overige waterflora, fytoplankton	300
				Doorzicht, P,	
Plassen					
Bergse plassen (M27)				overige waterflora	250
				P	
Zevenhuizerplas (M20)				Macrofauna, overige waterflora, vis	200
				N	
Kralingse plas (M27)				Overige waterflora	250
				P,N	



Knock-out risico chloride voor KRW doelen in de scenario's

De chlorideconcentratie (zomerhalfjaargemiddelde) in het boezemsysteem voldoet voor de Rotte en de Rottemeren aan de norm van 200 mg/l, voor alle scenario's (Figuur 6.1 en Figuur in bijlage A). Alleen in de Ringvaart overschrijdt het zomerhalfjaargemiddelde deze norm, met name in de delen waar de Alexander polder en de Zuidplaspolder hun overtollige water uitslaan op de Ringvaart. Dit uitgeslagen polderwater, is, qua hoeveelheid ook in de zomer nog substantieel. Dit komt omdat beide gebieden veel kwel hebben en worden doorgespoeld. Dit doorspoelwater bevat in de zomer vaak meer dan 200 mg/l chloride als gevolg van 'zoute' wellen in de polders en het indikkende effect van verdamping. Wanneer in het W+ scenario bovendien water uit de Hollandse IJssel met chlorideconcentraties tot 600 mg/l wordt ingelaten, voldoet het zomerhalfjaargemiddelde in de Ringvaart vrijwel nergens meer aan de norm van 200 mg/l. De KRW-watertype specifieke norm van de Ringvaart (300 mg/l) wordt echter nergens overschreden.



6.2 Kennis over zouttoleranties uit de literatuur

Het begrip zouttolerantie in ecologie en toxicologie

In de toxicologie wordt de zouttolerantie van organismen vaak uitgedrukt als de chlorideconcentratie waarbij de helft van de individuen lethale en/of sublethale effecten (groeivermindering, zichtbare verminkingen, gedragsveranderingen) ondervindt, de zogeheten LC50 waarde (Verbruggen, et al., 2008). Echter, ook wanneer individuen in een aquatische levensgemeenschap lethale effecten ondervinden van toenemende chlorideconcentraties, kunnen populaties (flora, fauna) nog steeds overleven. Tabel 6.2 is een voorbeeld van een generaliserend overzicht van de zouttolerantie van verschillende componenten uit het aquatisch ecosysteem opgesteld door ecologische experts. De interpretatie van het begrip 'zouttolerantie' wijkt hierbij af van de toxicologische benadering van zouttolerantie. Er zijn de volgende aanpassingsstrategieën te onderscheiden voor aquatische flora en fauna (James, et al., 2003):

- ▽ Acclimatiseren aan het zout; de snelheid van de verzilting in het fysieke systeem is daarbij belangrijk. Als de verzilting langzaam gaat kunnen plant en dier zich hier fysiologisch op instellen. Het gaat hierbij om osmo-regulatie of de actieve excretie van zout (bv bij vissen). Het blijkt ook dat er hogere zouttoleranties worden gevonden bij langzame blootstelling aan zout dan bij acute blootstelling (Goodman, et al., 2010). Dit is belangrijk om mee te nemen bij het bedenken van toxiciteitstesten of mesocosm-experimenten om de zouttolerantie te bepalen van aquatische flora en fauna.
- ▽ Het vermijden van het zout door dispersie, (re)kolonisatie of tijdelijk overleven als zaad of propagule (Skinner, et al., 2001).

Wanneer de zoutschok voorbij is kan vanuit de locaties (micro-habitats of habitat patches), waar de zoutcondities optimaal zijn gebleven tijdens de zoutschok, de verloren habitat gekolonialiseerd worden. Rekolonisatie kan ook mogelijk zijn vanuit naburige systemen (bijvoorbeeld door verspreiding van zaad door vogels). Dispersie mechanismen zijn veelvuldig onderzocht voor terrestrische ecosystemen (Vos, et al., 2011), maar minder voor aquatische systemen. In hoeverre dispersie en rekolonisatie strategieën van populaties succesvol zijn na verzilting, hangt mede af van andere factoren, zoals competitie met andere soorten en blootstelling aan andere stressfactoren (eutrofiëring, inlaat systeemvreemd water).

De zouttolerantie kan binnen een soort verschillend zijn voor populaties die geografisch van elkaar geïsoleerd zijn (of zijn geweest). Er kunnen verschillen zijn in de historische blootstelling aan verzilting en verzoeting (natuurlijke selectie) waardoor de zouttolerantie van een flora of fauna soort uit bijvoorbeeld het Scheldestroomgebied substantieel kan verschillen van dezelfde soort in het Rijnstroomgebied (Nolte, et al., 2005; Schmölcke & Ritchie, 2010). Kennis over plotselinge of geleidelijke veranderingen in estuariene dynamiek op de geologische tijdschaal is dus belangrijk om inzicht te verkrijgen in de veerkracht/tolerantie van een specifiek aquatisch ecosysteem en aanverwante soorten voor verzilting.



Tabel 6.2, Generalisatie van zouttoleranties in het aquatisch ecosysteem, gebaseerd op waarnemingen en expert judgment uit Australië (James, et al., 2003).

Taxa	Drempelwaarde uitgedrukt in saliniteit ¹² (mg/l)	Omgerekend naar chloride ¹³ (mg/l)	Effect
Kleine meercelligen	Niet tolerant/zeer gevoelig		Lethale effecten
Macro-invertebraten zonder impermeabel exoskelet	Niet tolerant/zeer gevoelig		Lethale effecten
Micro-invertebraten (o.a. zooplankton)	<2000 mg/l	≈ <1100	Lethale effecten
Grootste deel van de macro-invertebraten	2000 mg/l	≈ <1100	Negatieve effecten
Grootste deel van de submerse aquatische vegetatie	1000-2000 mg/l	≈ 550-1100	Sublethale effecten, lethale effecten voor sommige soorten.
<i>Chara</i> spp. (kranswieren)	1000-3000	≈ 550-1700	Verdwijnen uit Australische wetlands bij deze zoutconcentraties.
<i>Nitella</i> spp. (kranswieren)	1000-5000	≈ 550-2800	Verdwijnen uit Australische wetlands bij deze zoutconcentraties.
Veelvoorkomende cosmopolitische macrofyten	4000	≈ 2200	Verdwijnen uit Australische wetlands bij deze zoutconcentraties.
Riparian trees	>2000	≈ >1100	Negatieve effecten
Juveniele vis: kuit (pre-hardened eggs)	2000-4500	≈ 1100 - 2500	Negatieve effecten
Juveniele vis: groeisnelheid, overleving, gezondheid sperma	3000-5000	≈ 1700 - 2800	Optimale saliniteit tussen deze waarden.
Volwassen vis	8800	≈ 4900	Most tolerant up to this level
Broedsels van watervogels (eieren)	15300	≈ 8500	Meeste eieren worden gevonden in water onder dit saliniteitsniveau.
<i>Lamprothamnium</i> spp (een kranswier)	2000-58000	≈ 1100 - 32000	

¹² Er zijn verschillende manieren waarop de saliniteit kan worden aangegeven, vaak gebeurt dit met de eenheid g/kg (gram zout per kilogram water) of in procenten of promilles (ppt) of in g/l.

¹³ Omdat in het waterbeheer in Nederland gewerkt wordt met het chloridegehalte, is voor deze studie het zoutgehalte omgerekend naar het chloridegehalte door toepassing van de omrekening: [Chloride concentratie] = [Saliniteit] / 1,807 (Kuijs & Steenbergen, 2011; UNESCO, 1973). Deze omrekening is toegestaan voor de verdunning van zeewater, waarin een vaste verhouding tussen de totale hoeveelheid zout en de hoeveelheid chloride bestaat. De formule is niet geldig Het is bij saliniteitgehalten onder de 20‰. (UNESCO, 1973).

6.3 De zouttolerantie van de geselecteerde soorten.

In tabel 6.3 zijn de resultaten uit het literatuuronderzoek samengevat, samen met de inventarisatie van de distributieprofielen van de Limnodatabase van STOWA. In de laatste kolom van tabel 6.3 zijn de gevonden drempelwaarden voor saliniteit omgerekend naar chlorideconcentraties met behulp van de volgende formule: **Omrekenfactor: [Chlorideconcentratie] = [Saliniteit] / 1,807** (Kuijs & Steenbergen, 2011; UNESCO, 1973). Deze omrekening is toegestaan voor de verdunning van zeewater, waarin een vaste verhouding tussen de totale hoeveelheid zout en de hoeveelheid chloride bestaat. De formule is eigenlijk niet geldig bij saliniteitgehalten onder de 20‰ (≈ 2 g/l) (UNESCO, 1973). Op verschillende plaatsen in de tekst is dezelfde omrekenfactor gebruikt.

Tabel 6.3. Overzicht gevonden zouttoleranties en responsietabellen voor de geselecteerde soorten uit het literatuuronderzoek. Een grotere lijst is beschikbaar in EXCELL bestand.

Taxa	Limnodatabase STOWA Distributiepercentielen (mg/l chloride) per per- centiel						Drempelwaarde Saliniteit en Chloride tolerantie- grens uit literatuur
	10%	25%	50%	75%	90%	N	
Rivierdonderpad (<i>Cottus gobio</i> , <i>Cottus perifretum</i>)	-	-	-	-	-	-	Niet bekend. Meer info (Nolte, et al., 2005; Schmöcke & Ritchie, 2010)
Zeelt (<i>tinca-tinca</i>)	28	37	59	104	238	135	13.8 ‰ ≈ 7600 mg/l chloride (Weatherley, 1959) Meer info: (Ekmekci, 2002; Moyle, 2002; Rosa, 1958; Wheeler, 1969)
Kleine Modderkruiper (<i>Cobitis taenia</i>)	35	51	72	123	195	221	4.80 ‰ ≈ 266 mg/l chloride (Bohlen, 1999)
De winde (<i>Leuciscus idus</i>)	40	62	88	130	270	31	15 ‰ ≈ 8300 mg/l chloride (Thiel, et al., 2006)
Snoek (<i>Esox lucius</i>)	25	31	61	126	293	132	11.2 en 12.2‰ ≈ 6200 – 6750 mg/l chloride (Jacobsen, et al., 2007; Jørgensen, et al., 2010)
Plat fonteinkruid (<i>Potamogeton compressus</i>)	21	33	43	71	98	89	Niet bekend.
Glanzend fonteinkruid (<i>Potamogeton lucens</i>)	29	37	51	92	139	308	Niet bekend.
Zwanenbloem (<i>Butomus umbellatus</i>)	42	68	113	186	269	1438	Niet bekend.
Gewoon kransblad (<i>Chara vulgaris</i>)	31	46	84	195	364	158	4200 mg/l chloride (Martinez-Taberner, 1988; Veraart, et al., 2004)
Puntdragend glanswier (<i>Nitella mucronata</i>)	38	44	62	98	139	27	Niet bekend.
Krabbenscheer (<i>Stratoides aloides</i>)	29	40	61	92	135	326	Niet bekend, gaat om sulfaat (Geurts, et al., 2008; A. J. P. Smolders, et al., 2003).
Een soort binnen de watermijten (<i>Oxus ovalis</i>)	24	33	45	80	180	47	Niet bekend.
Een snuitkever (<i>Eubrichus velutus</i>)	-	-	-	-	-	9	Niet bekend
Een kokerjuffer (<i>Ceraclea senilis</i>)	39	67	122	200	270	141	Niet bekend
Platte schijfhoren (<i>Anisus vorticulus</i>)	37	62	92	128	190	480	0.7 ‰ ≈ 390 mg/l chloride (Gmelig Meyling & De Bruyne, 2006)



Uit tabel 6.3 is op te maken dat veel van de distributiepercentielen uit de limnodatabase voor de geselecteerde soorten moeilijk te verifiëren zijn met internationaal onderzoek. De tabel illustreert tevens dat veel vaker de saliniteit gebruikt wordt als variabele om de zouttolerantie uit te drukken in plaats van het chloridegehalte.

6.3.1 Vis

Volwassen zoetwatervis is in staat om te overleven onder brakke condities tot circa 8.8‰ saliniteit (James, et al., 2003). Veel zoetwater vissen migreren ook gedurende hun levenscyclus naar de zee of oceaan. Vaak doen jong adulte individuen dit voor het verkrijgen van voedsel of voor de voortplanting. Echter, veel soorten zijn afhankelijk van water met een saliniteit die lager is dan 5-6‰ voor de embryonale ontwikkeling na het kuitschieten (Bohlen, 1999; James, et al., 2003). Het optimum voor de embryonale groeisnelheid ligt voor veel zoetwatersoorten, verrassenderwijs, vaak in het licht brakke tot brakke domein binnen deze range (Albert, 2007).

Rivierdonderpad (*Cottus gobio*, *Cottus perifretum*)

In Noordwest Europa is de Rivierdonderpad een veelvoorkomende soort. Binnen de familie van Cotidae (300 soorten) is zij de enige zoetwater variant. Onlangs is vastgesteld (Nolte, et al., 2005) dat er in Nederland 2 afgeleide hybriden van deze soort (*Cottus Gobio*) voorkomen, de *Cottus perifretum* (rivierdonderpad) en de *Cottus rhehanus* (beekdonderpad), beiden zijn tevens ook nieuw voor de wetenschap. In Nederland komt de soort voor langs de oevers van de Rijn, Maas, Waal, IJssel en IJsselmeer. De incidenteel waargenomen rivierdonderpad in het Schielandboezemsysteem (2002, Vaart bij Bleijswijk) betreft de door Nolte (2005) beschreven hybride variant (*Cottus perifretum*). De *Cottus gobio* was binnen de Natura2000 wetgeving een natuurdoeltype (N3.18a) voor gebufferde meren zoals de Rotte meren. Deze status is (nog) niet veranderd na de ontdekking van de 2 hybride varianten.

De *Cottus gobio* prefereert koudere, zuurstofrijk en basenrijke wateren, met een voorkeur voor wateren met veel grind als ondergrond. De vis is een slechte zwemmer (Tomlinson & Perrow, 2003). De soort wordt vaak aangetroffen in langzaam stromende wateren. De tolerantiegrenzen voor watertemperatuur liggen tussen de – 4.2 en 27.7°C (Elliot & Elliot, 1995). De vis wordt stenohaline genoemd, dat wil zeggen dat de vis niet goed tegen fluctuaties in het zoutgehalte kan. De soort is echter wel tolerant voor constant hogere chloride waarden in het brakke domein (Schmölcke & Ritchie, 2010). De vis plant zich voort tussen februari en juni (externe bevruchting; meest succesvol bij lage stroomsnelheden). Het uitkomen van de eitjes duurt 20 tot 30 dagen, afhankelijk van de watertemperatuur. Ze zijn volwassen binnen 1 jaar. De vis houdt zich vaak schuil (geen actieve zwemmer) en vermijdt licht. Schaduw en schuilplaatsen zijn een belangrijk aspect van zijn habitat. Ze leven in de winter voornamelijk

van crustaceeën (in het bijzonder *Gammarus* spp. en *Asellus* spp.) en in de zomer van allerlei insectenlarven.

Expertoordeel: Deze soort is slechts incidenteel is waargenomen in het beheersgebied van Schieland en Krimpenerwaard, het is dus geen vaste bewoner. Het is dus de vraag of deze soort zich makkelijker of moeilijker zich zal kunnen vestigen onder de verschillende scenario's uit deze studie. De berekende chlorideconcentraties in de scenario's zijn, naar ons oordeel, geen cruciale beperkende factor die de ontwikkeling van een levensvatbare populatie van deze vis zal bemoeilijken in het beheersgebied het boezemsysteem van Schieland. Er is geen wetenschappelijke literatuur gevonden waar uit duidelijk wordt of voor de hybride variant (*Cottus perifretum*) dezelfde abiotische randvoorwaarden gelden als voor de *Cottus gobio*.

Zeelt (*tinca-tinca*)

De Zeelt is in 2004 aangetroffen in de sloot bij de Middelweg (Moordrecht). Ook hier gaat het om kleine aantallen, de visfederatie heeft wel regelmatig zeelt in de wateren in en rondom Krimpen aan de IJssel geobserveerd. De Zeelt schiet kuit bij een watertemperatuur van 18 tot 20 graden Celsius (Moroz, 1968; Moyle, 2002; Neophitou, 1993; O'Maoileidigh & Bracken, 1989; Wheeler, 1969). De mannetjes zijn na 3 jaar volwassen en de vrouwtjes na 4 jaar (Moroz, 1968; Wheeler, 1969; Moyle, 2002; Yilmaz, 2002). In de zomermaanden preferert de soort koel water in schaduw of in diepere gedeelten (Moyle, 2002). De vis houdt zich schuil gedurende de dag en foerageert na zonsondergang (Rosa, 1958; Wieser, 1991). De soort is gevoelig voor verlies aan habitat met vegetatie (Jurajda, 1995), hoge predatiedruk (Bronmark, et al., 1995) en eutrofiering (Bninska, 1991). De soort kan brakke omstandigheden aan, en is in Europa aangetroffen in estuariene condities met saliniteitswaarden tot circa 10-12 ‰ (≈ 5,5-6,6 g/l chloride) (Wheeler, 1969; Moyle, 2002; Ekmekci, 2002). In toxicologische experimenten is een lethale 24 uur-dosis berekend van 15.4 ‰ (Rosa, 1958) en een maximaal toelaatbaar risico van 13.8‰ (Weatherley, 1959).

Conclusie (expertoordeel): De berekende chlorideconcentraties in de scenario's zijn geen cruciale beperkende factor die de ontwikkeling van een levensvatbare populatie van deze vis zal bemoeilijken in het beheersgebied het boezemsysteem van Schieland.

Kleine Modderkruiper (*Cobitis taenia*)

Uit laboratorium testen (Bohlen, 1999) is gebleken dat de kleine Modderkruiper zich succesvol kan ontwikkelen bij een saliniteit tussen 0.12 en 4.80 ‰. Uit deze testen bleek ook dat bij een saliniteit van 6.00 ‰ de groei van de vis sterk geremd wordt. De groei stopte boven een saliniteit van boven 7.20 ‰. Onder de 0.12‰ was de groei instabiel. De gevonden bovenlimiet van 4.80‰ (≈ 266 mg/l) komt overeen met observaties in het veld in de Baltische kust. Hier kan uit geconcludeerd worden dat de soort zich ook kan ontwikkelen in brakke habitats. In het beheersgebied van Schieland wordt de soort in relatief lage abundantie aangetroffen in lichtbrakke (M30) sloten en laagveensloten (M8) in de Zuidplaspolder.

Conclusie (expertoordeel): De berekende chlorideconcentraties in de scenario's zijn geen cruciale beperkende factor die de ontwikkeling van een levensvatbare populatie van deze vis zal bemoeilijken in het beheersgebied het boezemsysteem van Schieland.



De Winde (*Leuciscus idus*)

De winde is sporadisch gevonden (1999) in de Ringvaart nabij Zevenhuizen. Dit is een rode lijst soort, en tevens een natuurdoeltype (3.18a). Volwassen individuen kunnen een saliniteit van meer dan 15‰ verdragen (Thiel, et al., 2006).

Conclusie (expertoordeel): De berekende chlorideconcentraties in de scenario's zijn geen cruciale beperkende factor die de ontwikkeling van een levensvatbare populatie van deze vis zal bemoeilijken in het beheersgebied het boezemsysteem van Schieland.

De snoek (*Esox lucius*)

Literatuur over de overlevingskansen van de snoek in brakke omstandigheden is schaars. In een Noors toxicologisch onderzoek (Jacobsen, et al., 2007) zijn de overlevingskansen van snoek onderzocht bij een kortdurende blootstelling (72 tot 96 uur) aan zout, een piekbelasting. In de proef werd de saliniteit gevarieerd tussen de 9–14 ‰ in combinatie met verschillende temperaturen (10, 14 en 18 °C). De gevonden LC50 waarden lagen tussen de 11.2 en 12.2‰, het effect was het grootst bij hogere temperaturen. Opvallend was dat de mortaliteit significant hoger en sneller was voor de grote vissen in vergelijking tot de kleinere vissen. De onderzoekers stellen dat deze resultaten betekenen dat de snoek in ieder geval gedurende korte tijd een piekbelasting met brak-zout (tabel 2.2) water kan overleven. In een vervolg-experiment (Jørgensen, et al., 2010) is gekeken hoe kuit en juvenielen van een brakwater populatie van Snoek uit het westelijke gedeelte van het Baltische zee gebied zich ontwikkelen vanaf waarden van 8.5 psu¹⁴. Bij 13 psu vertoonden de juvenielen stress en nam de groeisnelheid af.

Conclusie (expertoordeel): De berekende chlorideconcentraties in de scenario's lijkt geen cruciale beperkende factor die de ontwikkeling van een levensvatbare populatie van deze vis zal bemoeilijken in het beheersgebied het boezemsysteem van Schieland. De snoek wordt op verschillende plaatsen in het boezemstelsel van Schieland en Krimpenerwaard aangetroffen.

6.3.2 Waterplanten

In de literatuur is vaak gedocumenteerd dat zoetwaterplanten goed kunnen overleven tot een **saliniteit** tot circa 1000 a 2000 mg/l (Goodman, et al., 2010; James, et al., 2003). Boven deze waarde neemt bij veel soorten de groeisnelheid af en zijn de bladeren en wortelsysteem kleiner (Nielsen, et al., 2003). Algemeen, wijdverbreide zoetwatersoorten (cosmolieten) worden in het veld vaak niet meer waargenomen bij een saliniteit die hoger is dan 4000 mg/l (Brock, 1981). Er worden in de Australische literatuur verbijzonderingen gegeven voor de kranwieren (*Chara* spp. , *Nitella* spp. En *Lamprothamnium* spp.) die vaak iets meer zout verdragen (zie tabel 6.1 en 6.2).

¹⁴ P.S.U. is een maat voor het zoutgehalte dat in de mariene ecologie soms wordt gebruikt.

Er is minder bekend over de overlevingskansen en herstelcapaciteit van aquatische macrofyten die voor een bepaalde periode aan een hoger chloridegehalte worden blootgesteld, met uitzondering van onderzoek in Australië (Goodman, et al., 2010; James, et al., 2003). Goodman et al. (2010) hebben voor vier Australië, karakteristieke waterplanten voor wetlands (*Triglochin procerum*, *Myriophyllum simulans*, *Cotula coronopifolia*, *Baumea Arthropphylla*), 3 tot 6 weken blootgesteld aan water met een **saliniteit** van respectievelijk 1000, 4000 en 8000 mg/l in een experiment, gevolgd door een herstelperiode in zoetwater. De auteurs komen tot de conclusie dat bij deze planten fysiologische stress (beoordeeld op afname groeisnelheid e.d.) bij deze 3 concentraties waarneembaar is, maar ook dat deze vier soorten zich na een blootstelling van 3 tot 6 weken zich grotendeels ook kunnen herstellen (veerkracht; uitgedrukt in het herstellen van de groeisnelheid). De proef is alleen gedaan met volwassen individuen, de resultaten geven geen inzicht wat dit betekent voor de bloei, voortplanting, ontwikkeling en kieming van zaden.

Een soortgelijk Nederlands onderzoek (van den Brink & van der Velde, 1993) heeft in mesocosms onderzocht wat het effect van natriumchloride is op de groeisnelheid en morfologie van *Potamogeton lucens* L., *Potamogeton perfoliatus* L., *Potamogeton nodosus* Poir. en *Ranunculus circinatus* Sibth bij 2 chloride gehalten van weinig (7 mmol/l \approx 250 mg/l chloride) tot vaak (1.4 mmol/l \approx 50 mg/l chloride) overstroomde plassen in de Uiterwaarden van het Rijnstroomgebied (benedenstrooms). Het natriumchloridegehalte beïnvloedde de biomassaproductie en groeisnelheid negatief voor de 3 fonteinkruidsoorten, maar had geen invloed op *Ranunculus circinatus*. Er is niet onderzocht of deze soorten zich kunnen herstellen na een tijdelijke blootstelling aan deze concentraties. Glanzend fonteinkruid (*Potamogeton lucens*) komt voor in de waterparel (Zuidplaspolder).

Expertoordeel: De 'zoutpuls in augustus 2003' is, qua concentratie en duur, met enige extrapolatie vergelijkbaar met het Australische experiment van 1000 mg/l saliniteit (\approx 550 mg/l chloride). In augustus is de waterplanten gemeenschap volgroeid in het Nederlandse klimaat. De volwassen waterplanten hebben genoeg veerkracht om, in deze fase van hun levenscyclus, een dergelijke 'zoutpuls' te overleven. Onzeker is wel wat een dergelijke zout impuls betekent voor de bloei, voortplanting, ontwikkeling en kieming van de zaden. Dat zou uitgezocht kunnen worden met mesocosm experimenten.

Potamogeton compressus* en *potamogeton lucens

Plat fonteinkruid (*Potamogeton compressus*) is een rode lijst soort en natuurdoeltype. In de Schieland boezem is de soort in het gebied van de Waterparel in 1984 aangetroffen op 1 locatie, maar daarna niet meer (STOWA, 2011). De responsie tabel in de Limnodatabase (STOWA, 2011) geeft aan dat deze soort het meest waargenomen wordt bij chloridegehalten tussen de 20 en 100 mg/l chloride (10 en 90 percentiel; tabel 6.2). *Potamogeton lucens* wordt aangetrof-



fen bij chloride gehalten tussen 30 en 140 mg/l chloride (10 en 90 percentiel; tabel 6.3).

Expertoordeel: Deze 2 zoetwaterplanten lijken¹⁵ dus kwetsbaar voor de inlaat van lichtbrak water, zoals toegepast in de scenario's. *Potamogeton lucens* werd in 2004, een jaar na de inlaat van licht brak water weer aangetroffen op de bekende locaties (sloten bij de Middeweg). Dit kan wijzen op veerkracht, maar het kan ook een indicatie zijn dat in deze sloten het ingelaten water uit de Hollandse IJssel nooit gekomen of voldoende verdund was in 2003.

***Butomus umbellatus* (Zwanenbloem)**

Er is geen internationale literatuur over de zoutgevoeligheid van deze soort gevonden, behalve algemene stellingen dat bekend is dat de soort gevoelig is voor zout. De responsietabellen uit de Limnodatabase geven aan dat deze soort in Nederland voorkomt in wateren met een chlorideconcentratie tussen de 40 en 270 mg/l (10 en 90 percentiel, tabel 6.3). In de Schieland polder is de soort waargenomen in 2003 in de tochtsloot (Zuidplaspolder) en in de Eendragtspolder, daarna zijn er geen waarnemingen toegevoegd in de database.

Expertoordeel: Ook deze soort lijkt⁹ kwetsbaar voor de inlaat van lichtbrak water, zoals toegepast in de scenario's.

***Chara vulgaris* en *Nitella mucronata* (kranswieren)**

Uit de internationale literatuur blijkt dat kranswieren (*Chara* spp. , *Nitella* spp. En *Lamprothamnium* spp.) vaak relatief hogere chlorideconcentraties kunnen verdragen, dan van wat je uit de Limnodatabase zou opmaken (tabel 6.3).

Dit geldt ook voor *Chara vulgaris*. Op Mallorca zijn minimale en maximale zouttolerantie vastgesteld voor deze soort van respectievelijk 1100 en 4200 mg/l chloride (Martinez-Taberner, 1988; Veraart, et al., 2004). In de Limnodatabase worden de 10 en 90% percentiel voor chloride vastgesteld op respectievelijk 30 en 360 mg/l chloride voor *Chara vulgaris* (tabel 6.3). De soort is in Zuidplaspolder-Noord, de Eendragtspolder, in de Waterparel en in de Zevenhuizerplas in het verleden waargenomen. *Nitella mucronata* is incidenteel, in 1984, in een stadswater in Nieuwerkerk aangetroffen.

Expertoordeel: De chlorideconcentraties uit de scenario's vormen, over het algemeen, geen belemmering voor de ontwikkeling van kranswieren gemeenschappen in de Schielandpolder. Kranswieren zijn zeldzaam in het beheersgebied door eutrofiëring.

***Stratoides aloides* (krabbenscheer)**

Krabbenscheer is een van de meest karakteristieke waterplanten in de Nederlandse laagveengebieden. De rosetvormige planten overwinteren op de onderwaterbodem en komen in het voorjaar omhoog wanneer de lichtniveaus toenemen. Gedurende de zomer drijven de planten op het water en zinken weer af naar de bodem in het najaar (Roelofs, 1991). Krabbenscheer kan zich

¹⁵ Je kunt daar pas definitiefs iets over zeggen op basis van gepubliceerd experimenteel onderzoek of door te zoeken naar veldwerkstudies in het buitenland (Runhaar, et al., 1997).

zeer snel ongeslachtelijk vermeerderen middels uitlopers en turionen (winterknoppen). Hierdoor kan de soort, wanneer de omstandigheden goed zijn, in zeer korte tijd een groot oppervlak bedekken (A. J. P. Smolders, et al., 2002; Weeda, et al., 1991). Geslachtelijke voortplanting komt volgens de literatuur maar zelden voor (A. J. P. Smolders, et al., 1995). Meestal bestaat de vegetatie uitsluitend uit mannelijke of vrouwelijke planten. Krabbenscheer is een soort van matig voedselrijke wateren. In Nederland is Krabbenscheer in de jaren zeventig en tachtig sterk achteruitgegaan, op dit moment lijkt de soort zich langzaam weer te herstellen (A. J. P. Smolders, et al., 2002). De reden van de achteruitgang is voornamelijk als gevolg van eutrofiëring door de directe verrijking van het oppervlaktewater met voedingsstoffen en de inlaat van gebiedsvreemd water uit de grote rivieren (A. Smolders & Roelofs, 1995). Dit water is relatief hard en bevat tevens veel sulfaat (Geurts, et al., 2008; A. J. P. Smolders, et al., 2003). Het sulfaat kan ook via kwel in het systeem komen, als gevolg van onderbemaling (dalende grondwaterstand door ontwatering ten bate van landbouw) kan pyriet oxideren tot sulfaat (Barendrecht, 2007; Meinhardt, 2005). Uit metingen is gebleken dat het sulfaat in Schieland vooral uit het gebied zelf (bodem, grondwater, grondgebruik) afkomstig is en niet uit het rivierwater (pers. Med. W. Twisk). Er bestaat debat tussen wetenschappers welke sulfaatbron het belangrijkste is voor de sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater. Door het sulfaat wordt de afbraak van organisch materiaal sterk versneld waardoor voedingsstoffen uit het sediment vrijkomen. Bovendien kan door de omzetting van sulfaat in sulfide in de bodem, wortelrot (sulfide vergiftiging) optreden, kunnen de planten ook last krijgen van ijzeregebrek en kan ammonium toxicatie optreden (A. J. P. Smolders, et al., 2003). Dit kan herkend worden aan een lichtgroene of zelfs gele kleur van de bladeren (A. J. P. Smolders, et al., 2002). De soort is tevens belangrijk voor de zwarte stern (*Chlidonias niger*), de groene glazenmaker (*Aeshna viridis*) en de bittervoorn (*Rhodeus amarus*) (Barendrecht, 2007). Barendrecht (2007) legt ook een verband tussen de peilopzet in sloten en het voorkomen van de Krabbenscheer, een hoog waterpeil is belangrijk.

Deze soort komt momenteel niet voor in het waterbeheersgebied van Schieland, maar de krabbenscheergemeenschap is wel beschreven als een mogelijk ecologisch einddoel (Van den Broek & Van-Kampen-Brouwer, 2003). Er is geen literatuur gevonden met empirisch bewijs over de directe relatie tussen het voorkomen van de krabbenscheer en chloride/saliniteitsgehalten. Sulfaat is een anion en draagt natuurlijk bij aan de saliniteit van water, dus indirect is er wel een verband tussen zoutgehalte/zoutgevoeligheid van deze soort via sulfaat. Runhaar et al. (2006) beschrijft dat er in 2003 in de veenweidegebieden is waargenomen dat het areaal krabbenscheer sterk afnam volgens betrokkenen. Uit de veldgegevens uit de Limnodatabase blijkt dat de krabbenscheer in Zuid-Holland in 2002 (50 locaties), 2003 (51 locaties) en 2004 (51 locaties) is aangetroffen. Dit lijkt niet te wijzen op een achteruitgang. In de Limnodatabase worden de 10 en 90% percentiel voor chloride vastgesteld op respectievelijk 29 en 135 mg/l chloride voor krabbenscheer (tabel 6.3).

Expertoordeel: Het is onbekend wat de inlaat van lichtbrak water, qua chloride gehalte, betekent voor de krabbenscheer. De inlaat van licht-brak rivierwater is toch af te raden wanneer deze soort voorkomt in een gebied met een natuurfunctie met krabbenscheerlevensgemeenschappen, vanwege de hoge sulfaatconcentraties in het inlaatwater.



6.3.3 Macrofauna

In het algemeen beginnen bij macro-invertebraten osmo-regulatie mechanismen te haperen bij een saliniteit van 9 ‰, echter de eerste sub-lethale effecten worden al waargenomen bij 0.8 ‰ (≈ 440 mg/l) (Bailey & James, 2000; Garza-Sanchez, et al., 2009). Macro-invertebraten zonder impermeabel 'exoskeleton' zijn veel gevoeliger voor zout dan soort die dit wel hebben, maar hoe gevoelig deze soorten zijn is niet met een getal uitgedrukt door James et al. (2003).

Voor het 'overgrote deel' van de macro-invertebraten noemt James et al. (2003) een zouttolerantielimit van 2‰ (ca. 1100 mg/l). Runhaar et al. (2006) nuanceert dit en stelt dat vanaf 300 mg/l het aantal zoetwater macro-invertebraten langzaam afneemt en dat bij chlorideconcentraties boven de 1000 mg/l het aantal zoetwater invertebraten sterk afneemt. In het tussentraject kunnen zich een groot aantal brakwater tolerante soorten zich handhaven, in het bijzonder insectensoorten zoals vedermuggen, waterwantsen en kevers. Het aantal soorten kreeftachtigen neemt toe bij stijgende chlorideconcentratie (Krebs, et al., 1995).

De meeste micro-invertebraten zijn zeer gevoelig voor fluctuaties in het zoutgehalte (James, et al., 2003), met enkele uitzondering van enkele zoutwaterspecialisten, zoals Rotifera, Arthropoda en sommige Chironomidae (Halse, et al., 1998; Timms, 1998; Williams, et al., 1998).

***Oxus ovalis* (watermijt)**

Deze soort is vrij zeldzaam in Nederland en incidenteel aangetroffen in de Zuidplaspolder in 2001 en 2004 (Cuppen, 2005). De meeste waarnemingen van deze soort wordt in Nederland gedaan van half maart tot en met eind oktober, met een piek in het voorjaar. *Oxus ovalis* wordt in veel watertypen aangetroffen, het meest echter in zeer zoete sloten en vijvers met een laag nutriëntengehalte (Smit & Van der Hammen, 2000). In de Limnodatabase worden de 10 en 90% percentiel voor chloride vastgesteld op respectievelijk 24 en 180 mg/l voor deze watermijt (tabel 6.3).

Expertoordeel: Ook deze soort lijkt⁹ kwetsbaar voor de inlaat van lichtbrak water, zoals toegepast in de scenario's.

***Eubrichus velutus* (een snuitkever)**

Ook deze soort is in zeer kleine aantallen en incidenteel aangetroffen in de Zuidplaspolder. De soort is zo zeldzaam in Nederland (9 incidentele waarnemingen) dat er geen responsie gegevens voor chloride voor deze soort in de Limnodatabase beschikbaar zijn. Er is geen internationale literatuur gevonden over de zoutgevoeligheid van deze soort.

Expertoordeel: niet te geven.

***Ceraclea senilis* (een kokerjuffer)**

In de Limnodatabase worden de 10 en 90% percentiel voor chloride vastgesteld op respectievelijk 24 en 180 mg/l voor deze kokerjuffer⁹ (tabel 6.3). De soort is incidenteel aangetroffen in de Hennepsloot in de Schieland boezem (2004).

Expertoordeel: Ook deze soort lijkt⁹ kwetsbaar voor de inlaat van lichtbrak water, zoals toegepast in de scenario's.

***Anisus vorticulus* (platte schijfhoren)**

In de Limnodatabase worden de 10 en 90% percentiel voor chloride vastgesteld op respectievelijk 40 en 190 mg/l (tabel 6.3) voor deze slakkensoort, een natuurdoeltype. In verschillende laagveensloten wordt de soort aangetroffen in de Schieland boezem. Het is plaatselijk een veel voorkomende soort, maar op Europees niveau zeldzaam. In wateren met een zoutgehalte (saliniteit) boven de 0,7 promille (≈ 700 mg/l saliniteit ≈ 390 mg/l chloride) kan de soort meestal niet overleven (Gmelig Meyling & De Bruyne, 2006). De Platte schijfhoren leeft bij voorkeur in voedselrijk stilstaand water met een begroeiing van waterplanten. De Platte schijfhoren heeft verder een afkeer van ionenrijk water. Het slakje wordt ook vaker en in hogere aantallen waargenomen naar mate de concentraties aan calcium, kalium, natrium, magnesium en chloride lager zijn (Gmelig Meyling & De Bruyne, 2006).

Expertoordeel: Deze soort lijkt⁹ veerkrachtig genoeg te zijn voor de inlaat van lichtbrak water, zoals toegepast in de scenario's.



7 Conclusies

Kalibratie en evaluatie van het regionale SOBEK model

Het SOBEK model voor de Schieland boezem is gekalibreerd en geëvalueerd voor het jaar 2003 op basis van metingen van ingelaten en uitgelaten debieten op polder- en boezemniveau. De ingelaten hoeveelheid water kon niet worden afgeleid uit gemeten chlorideconcentraties in het boezemwater gegeven de beperkte resolutie in ruimte en tijd van de metingen.

- ▽ Gegeven deze missende data is via een stapsgewijze aanpak, in dialoog met de waterbeheerder, een schatting gemaakt wat de waterbehoefte is van de polders in Schieland met hulp van de wel beschikbare data (polderuitslag en inlaat bij Bergsluis). Het delta instrumentarium ingezet bij de berekening van de externe verziltig bij de inlaatpunten en het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) is gebruikt voor de inschatting van kwel, inzijing, doorspoeling en infiltratie.
- ▽ Op basis van de meetgegevens en de dialoog met de waterbeheerder zijn handmatige correcties toegepast in de berekeningen van het NHI (doorspoeling, infiltratie). Op deze manier zijn de inzichten vergroot over de betrouwbaarheid van zowel meetnetwerken, metingen en modellen van de betrokken kennisinstellingen en de regionale waterbeheerder (joined-fact-finding). Op deze manier kunnen ook in samenspraak verbeterpunten worden vastgesteld. Enkele voorbeelden van verbeterpunten:
 - Er zijn verschillen tussen de gemodelleerde chloride maxima ten opzichte van de gemeten chlorideconcentraties bij Schiltsluis. Voor de doelen van deze studie zijn de onzekerheden in de absolute getallen voor de chloride maxima minder relevant, het gaat om de duur van de inlaatstop, c.q. de tijd dat de chlorideconcentraties hoger zijn dan 200 mg/l chloride.
 - Veranderingen in interne verziltig door klimaatverandering is niet meegenomen omdat interne verziltig in dit gebied van relatief klein belang is (expertoordeel HHSK). Het is technisch mogelijk om dit wel te modelleren (expertoordeel Deltares).

Toekomstige verziltig van het in te laten rivierwater

- ▽ De chloridegehalten voor het referentie jaar 2003 (januari tot en met december) bij de innamepunten in de Nieuwe Waterweg (Schilthuis) en in de Hollandse IJssel (Snelle Sluis) nemen bij het G-scenario van het KNMI nauwelijks toe ten opzichte van de gemodelleerde chloridegehalten in het huidige klimaat (referentiejaar 2003). Bij deze inlaatpunten worden er incidentele chloride maxima gemodelleerd die liggen rond de 5000 mg/l (Schiltsluis) en 500 mg/l (Snelle Sluis) voor zowel het huidige klimaat als voor het G scenario.
- ▽ Onder het KNMI W⁺ scenario nemen de chloridegehalten voor het referentie jaar 2003 bij deze twee innamepunten sterk toe ten opzichte van de gemodelleerde chloridegehalten voor 2003 bij het huidige kli-

maat. Bij deze inlaatpunten worden er incidentele chloride maxima gemodelleerd die liggen rond de 8000 mg/l (Schiltsluis) en 2000 mg/l (Snelle Sluis) onder het W+ scenario.

- ▽ Bij de huidige gehanteerde chloride inlaatnorm van 200 mg/l (inlaat wordt gestopt wanneer het inlaatwater deze norm overschrijdt) betekent dit bij zowel het W⁺ als het G scenario dat de inlaat vanuit de grote rivieren (bij Schilthuis en Snelle Sluis) eerder en langer moet worden gestopt, waardoor eerder en langer water moet worden ingelaten via innamepunt Bergsluis. De noodzaak en duur van de KWA-procedure neemt bij ongewijzigde inlaatnormering door klimaatverandering dus toe.
- ▽ Verruiming van de chloride inlaatnorm naar 600 mg/l zal leiden tot het later en korter sluiten van de inlaatpunten (Nieuwe Maas en Hollandse IJssel). Bij Bergsluis (KWA-procedure¹⁶) hoeft dan minder lang water te worden ingelaten onder het KNMI W⁺ scenario. Bij het G scenario hoeft Bergsluis niet meer te worden ingezet als inlaatpunt (zichtjaar is 2050, referentiejaar is 2003). De verruiming van de inlaatnorm voor chloride kan gezien worden als een potentiële klimaatadaptatiestrategie. De KWA-procedure kan echter ook ingesteld worden op basis van de inlaatbehoeften in Delfland of in Rijnland, zonder dat er water ingelaten wordt bij de Bergsluis. Deze situatie is niet onderzocht in deze studie. De waterbehoeften in Delfland en Rijnland bepalen tevens ook hoeveel water er aangevoerd kan worden via de Bergsluis.

Toekomstige (externe) verzilting in de Schieland polder

- ▽ Van de twee doorgerekende klimaatscenario's (G en W⁺, beiden met zichtjaar 2050) leidt alleen het W⁺ scenario tot extra verzilting in het boezemsysteem, met name wanneer de chloridenorm voor het in te laten rivierwater wordt verhoogd naar 600 mg/l.
- ▽ De grootste mate van verzilting treedt op in het oostelijke deel van het boezemsysteem; de Ringvaart. Al wordt de specifieke chloridenorm¹⁷ van de Ringvaart (300 mg/l) zomerhalfjaargemiddeld nergens overschreden.
- ▽ De klimaatscenario's werken vooral door op de verzilting via hogere concentraties van het in te laten rivierwater, en niet zozeer via een grotere toekomstige waterbehoefte van de polders die aangesloten zijn aan het boezemstelsel van Schieland.
- ▽ Bij de modelstudie is de interne verzilting - het mogelijk zouter worden van kwel in het gebied - niet meegenomen. Tevens is aangenomen dat

¹⁶ KWA staat voor Kleinschalige WaterAanvoer. De KWA-procedure wordt door de betreffende waterschappen ingezet in tijden van grote watertekorten met als doel om zoet water (uit o.a. het Amsterdam Rijnkanaal en de Lek) naar de polders in Zuid Holland aan te voeren (beheersgebieden van hoogheemraadschap Rijnland, Delfland en Schieland & Krimpenerwaard).

¹⁷ Deze specifieke norm is voor dit waterlichaam door het waterschap geformuleerd voor de Kaderrichtlijn Water(HHSK, 2009)



het chloridegehalte van het water dat bij Bergsluis wordt ingelaten (KWA-procedure) niet verandert in de toekomst.

De gemiddelde chloridegehalten en de Kaderrichtlijn Water

- ▽ De chlorideconcentraties liggen in bijna alle KRW waterlichamen in de Schieland boezem NIET ten grondslag aan de meestal **slechte** of **ontoe-reikende kwaliteit** (KRW kwaliteitsbeoordeling). Uitzondering is de Zuidplaspolder Noord waar het chloride gehalte behoort tot een van de slechtst scorende kwaliteitselementen. In dit gebied geldt echter ook een strengere norm (150 mg/l chloride).
- ▽ De meeste aquatische soorten die gevoelig zijn voor de inlaat van lichtbrak water uit de hoofdinname punten, zijn te vinden in Zuidplaspolder-Zuid (de Waterparel). Eerdere studies stellen dat de soortenrijkdom in de sloten en wateren in dit gebied relatief hoger zijn dan elders in de polders van Schieland omdat ze (a) niet onder invloed staan van brakke kwel en (b) voornamelijk gevoed worden door regenwater.
- ▽ Verandering in waterbewegingen tussen de Ringvaart en de Zuidplaspolder-Zuid door extra inlaat bij de gemalen en eventuele illegale inlaten, kunnen een potentieel risico zijn voor de regenwater gevoede natuurwaarden in de Waterparel onder het W^+ scenario en bij een aangepaste inlaatstop van 600 mg/l chloride. De huidige en toekomstige waterbewegingen zijn echter nog onvoldoende kwantificeerbaar te maken. In de overige polders lijkt een verruiming van de chloride norm naar 600 mg/l geen substantieel risico voor de huidig aanwezige soorten en de KRW doelen. Wanneer andere waterkwaliteitsparameters verbeteren, zoals de nutriëntconcentraties, is het nog wel nader te onderzoeken of gewenste zoetwatersoorten zich in het boezemstelsel zich kunnen vestigen bij een minder strenge chloride inlaatnorm. Bij het vaststellen van inlaatnormen is het voorts aan te bevelen niet alleen de chlorideconcentraties van het rivierwater in beschouwing te nemen maar ook andere waterkwaliteitsparameters (nutriënten, sulfaat).

Conclusies uit literatuuronderzoek over de zouttolerantie van de geselecteerde soorten

- ▽ De meeste in deze studie beschouwde waterplanten en vissen lijken te kunnen overleven bij de gesimuleerde chloridegehalten uit deze scenariostudie. De meest zoutgevoelige soorten uit de door ons gemaakte selectie, betroffen de invertebraten.
- ▽ De responsietabellen uit de Limnodatabase zijn niet altijd representatief voor de daadwerkelijke zouttolerantie van de geselecteerde waterplanten omdat de habitats met hogere chloridegehalten, waar deze soorten soms ook nog in kunnen voorkomen, weinig in Nederland te vinden zijn. Er zijn geen zouttolerantie grenzen op basis van chloride voor de Zwanenbloem (*Butomus umbellatus*), Glanzig fonteinkruid (*Potamogeton lucens*) en Plat fonteinkruid (*Potamogeton compressus*) gevonden in de internationale wetenschappelijke literatuur.

- ▽ Ook voor de krabbenscheer (*Stratoides aloides*) zijn geen zouttolerantiegrenzen op basis van chloride gevonden in de internationale literatuur. Dit is een soort die in naburige watersystemen voorkomt en vaak gekarakteriseerd wordt als zoutgevoelig. Dit heeft hoogstwaarschijnlijk meer te maken met de gevoeligheid voor sulfaat in plaats van met de gevoeligheid voor chloride, beiden anionen die mede het zoutgehalte bepalen van (lichtbrak) inlaatwater.
- ▽ Er is over het algemeen weinig literatuur gevonden over het herstellvermogen van de aquatische leefgemeenschap in relatie tot de blootstelling tot lichtbrak water.
- ▽ De chlorideconcentraties uit de scenario's vormen, over het algemeen, geen belemmering voor de ontwikkeling van kranswieren gemeenschappen in de Schielandpolder. Kranswieren zijn zeldzaam in het beheersgebied door eutrofiëring. Vergelijk met internationale literatuur laat ook zien dat *Chara vulgaris* veel zouttoleranter is, dan wat je uit Nederlandse veldwaarnemingen uit de Limnodatabase zou verwachten.

8 Aanbevelingen

Algemene aanbevelingen

- ▽ Veel van de zouttoleranties voor soorten in het aquatisch ecosysteem zijn in de internationaal wetenschappelijke literatuur uitgedrukt in saliniteit en niet in chloride. Er is een algemene omrekenfactor (UNESCO, 1973), maar die mag eigenlijk niet toegepast worden voor water met een saliniteit < 20‰. Het omrekenen van zouttoleranties met deze formule kan tot verkeerde inschattingen van de risico's op zoutschade leiden voor aquatisch ecologische levensgemeenschappen. Het verdient de voorkeur om per watersysteem een specifieke omrekenfactor vast te stellen op basis van tijdreeksanalyse van gemeten chloride, EGV en saliniteit. Voor het vaststellen van zouttoleranties voor natuur is het misschien beter om een maat te gebruiken voor alle zouten (e.g. EGV of saliniteit) bij het vaststellen van gebiedsgerichte inlaatnormen.
- ▽ Om beter inzicht te krijgen op de effecten van de inlaat van lichtbrak water op de aquatische levensgemeenschap, de zouttolerantie van de gewenste/beschermde soorten (EU Habitatrichtlijn, KRW) en de herstellcapaciteit na blootstelling (veerkracht), is het aan te bevelen om aanvullend experimenteel onderzoek te verrichten, dat kan vergeleken worden met de geregistreerde waarnemingen in het veld uit de Limnodatabase van STOWA en met waarnemingen elders in Europa. Hierbij gaat het niet alleen om de aan- of afwezigheid van flora of fauna zelf maar ook om het effect van zout op de verschillende overlevingsstrategieën (zaad, propagules, acclimatisatie, vluchtmogelijkheden, rekolonisatie en verspreiding).
- ▽ Het gebruik van de Limnodatabase van STOWA binnen het deelprogramma Zoetwatervoorziening is aan te bevelen. Niet alleen voor de bepaling en beoordeling van effecten op de waterkwaliteit en ecologie van adaptatie maatregelen of klimaatverandering, maar ook bij de eva-



luatie/kalibratie en interpretatie van de waterbalans van regionale watersystemen.

- ▽ Bij het vaststellen van de effecten van klimaatverandering op de aquatische levensgemeenschap in relatie tot de inlaat van lichtbrak water is het aan te bevelen om ook te kijken naar het effect van stijgende water temperatuur in combinatie met veranderende zoutdynamiek.

Aanbevelingen voor Schieland en Krimpenerwaard

- ▽ Er zijn nog verschillende onzekerheden geïdentificeerd in de water- en chloride balans van de verschillende polders die aangesloten zijn op de Schieland boezem. Het is aan te bevelen om in het bijzonder de Zuidplaspolder nader te beschouwen met het SOBEM model van het waterschap in combinatie met hydrologische monitoring en ecologische veldwaarnemingen. Misschien is het ook mogelijk om met behulp van ecologische data het functioneren van het regionale model verder te evalueren.
- ▽ Voor de Zuidplaspolder(zuid) is nader onderzoek nodig hoe de natuurwaarden in de Zuidplaspolder beschermd kunnen worden bij een ruimere inlaatnorm.
- ▽ Er is nog de vraag aan ons gesteld hoe een mogelijke verruiming van de inlaatnorm voor chloride zich verhoudt tot toepassing van de regionaal geldende verdringingsreeks¹⁸. In deze studie is een verruiming van 600 mg/l chloride onderzocht, er zijn ook andere varianten van verruiming van de chloridenorm mogelijk die nader onderzocht kunnen worden.
- ▽ Er zijn in de overleggen met HHSK ook andere waterbeheersscenario's en opties voor landgebruiksverandering benoemd die niet nader onderzocht zijn in deze studie, maar mogelijk wel relevant voor de identificatie van mogelijke strategieën ten bate van het deltaprogramma. In het overleg met het waterschap zijn bijvoorbeeld de volgende opties nog aanvullend geïdentificeerd: (a) wel/geen peilopzet, (b) doorspoelen op volle kracht/doorspoelen op halve kracht en (c) inlaat van water bij Schilthuis tijdens laagtij in plaats van tijdens hoogtij. Bij het laatste scenario is tevens de vraag welke technische aanpassingen dit vraagt.

¹⁸ Er is een nationale verdringingsreeks en daarvan zijn regionale verdringingsreeksen afgeleid. Verdringingsreeksen treden in werking wanneer er niet meer kan worden voldaan aan de aanvoer van zoet water die is vastgelegd in waterakkoorden. Het concept van de verdringingsreeks stamt uit de droge zomer van 1976 en zij zijn geactualiseerd na de droge zomer van 2003 (Rijkswaterstaat, 2009). Met betrekking tot de situatie met extreme droogte wordt door de provincie Zuid-Holland in overleg met de waterschappen een regionale verdringingsreeks uitgewerkt. In deze reeks worden de verschillende belangen bij de watervoorziening in een onderlinge rangorde geplaatst. Voor HHSK staat in dit verband de peilbeheersing veruit bovenaan, omdat dat essentieel is voor de instandhouding van het systeem (veiligheid en stabiliteit). In die omstandigheden wordt bij een tekort aan zoet water enige verzilting geaccepteerd (Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, 2009).



9 Literatuur

- Albert, A. (2007). The role of salinity in structuring Eastern Baltic coastal fish communities. Universitatis Tartuensis.
- Anoniem (2011). Zoetwatervoorziening West Nederland: nu en in de toekomst.
- Arcadis (2007). Protocol toetsen en beoordelen voor de operationele monitoring en toestand- en trendmonitoring.: Werkgroep MIR.
- Bailey, P., & James, K. (2000). Riverine and Wetland Salinity Impacts - Assessment of R&D Needs. Canberra.
- Baptist, M. J., De Messel, I., Stuyt, L. C. P. M., Henkes, R., De Molenaar, H., Wijsman, J., Dankers, N., & Kimmel, V. (2007). Herstel van estuariene dynamiek in de Zuidwestelijke Delta: Wageningen Imares.
- Barendrecht, A. (2007). Het verband tussen het slootpeil en de levensgemeenschap van Krabbenscheer-Groene Glazenmaker - Bittervoorn - Zwarte Stern in het laagveengebied van Zuid-Holland (specifiek toegespitst op Reeuwijk). Gouda: op persoonlijke titel.
- Barendregt, A., Nieuwenhuis, J. W., & De Joode, P. (1990). Milieu-indicatiewaarden van wateren oeverplanten in Noord-Holland. Haarlem/Utrecht: Provincie Noord-Holland, Interfakultaire Vakgroep Milieukunde van de Rijksuniversiteit Utrecht.
- Beersma, J. J., Buishand, T. A., & Buiteveld, H. (2004). Droog, droger, droogst - KNMI/RIZA bijdrage aan de tweede fase van de droogtestudie Nederland. . Lelystad.
- Beijk, V. (2008). Klimaatverandering en verzilting. Studie naar de effecten van de KNMI '06 scenario's op de verzilting in Midden West Nederland. (CONCEPT januari 2008): Rijkswaterstaat.
- Bessembinder, J. J. E., Overbeek, B. A., Van den Hurk, B., & Bakker, A. M. (2011). Klimaatdienstverlening: Maatwerk. De Bilt: KNMI.
- Bninska, M. (1991). Fisheries. In I. J. Winfield & J. S. Nelson (Eds.), *Cyprinid fishes: Systematics, biology and exploitation*: (pp. 572-589.). London: Chapman and Hall.
- Bohlen, J. (1999). Influence of salinity on the early development in the spined loach, *Cobitis taenia*. *Journal of Fish Biology*, 55, 189-198.
- Brock, M. A. (1981). The Ecology of Halophytes in the Southeast of South-Australia. *Hydrobiologia*, 81-2(Jun), 23-32.
- Bronmark, C., Paszkowski, C. A., Tonn, W. M., & Hargeby, A. (1995). Predation as a determinant of size structure in populations of Crucian carp (*Carassius carassius*) and tench (*Tinca tinca*). *Ecology of Freshwater Fish*, 4, 85-92.
- Bruggeman, W., Haasnoot, M., Hommes, S., Te Linde, A., & Van der Brugge, R. (2011). Deltamodel 2010.2. Deltascenario's: Scenario's voor robuustheidsanalyse van maatregelen voor zoetwatervoorziening en waterveiligheid (concept). Deltares.
- Bulsink, F. (2010). Zoetwaterverkenning Midden-West Nederland: Verkenning naar wateraanvoermaatregelen om de zoetwatervoorziening in Midden-West Nederland te garanderen. Unpublished afstudeerrapport, Technische Universiteit Delft, Enschede.
- CTV, & Werkgroep herziening cultuurtechnisch vademecum (2000). *Cultuur Technisch Vademecum*. Utrecht: Cultuurtechnische Vereniging.
- Cuppen, H. (2005). Meetnet Schieland 2004 Ecologische opmerkingen macrofyten en macrofauna: Adviesbureau Cuppen.
- De Smit, D. (1993). Water- en stoffenbalansen voor polder en boezems in Schieland. . Rotterdam: Hoogheemraadschap van Schieland.
- Deltacommissie (2008). Samenwerken met water.

- Ekmekci, F. G. (2002). The effects of high salinity on the production of *Capoeta tinca* in a naturally contaminated river. . Tr. J. Zool., 26, 265–270.
- Elbers, J. A., Moors, E. J., & Jacobs, C. M. J. (2010). Gemeten actuele verdamping voor twaalf locaties in Nederland. Amersfoort: Alterra.
- Ellenberg, H., Weber, H. E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W., & Paulißen, D. (1991). Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica XVIII XVIII, 248 pp.
- Elliot, J. M., & Elliot, J. A. (1995). The critical thermal limits for the bullhead, *Cottus gobio*, from three populations in northwest England. Freshwater Biology 33, 411–418.
- Evers, C. H. M. (2006). Getalswaarden voor de algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen. Lelystad, the Netherlands: Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwater-behandeling (RIZA).
- Evers, C. H. M. (2007). Getalswaarden bij de Goede Ecologische Toestand voor oppervlaktewater voor de algemene fysischchemische kwaliteitselementen temperatuur, zuurgraad, doorzicht, zoutgehalte en zuurstof. Amersfoort: RIZA & STOWA.
- Garza-Sanchez, F., Chapman, D. J., & Cooper, J. B. (2009). *Nitzschia Ovalis* (Bacillariophyceae) Mono Lake Strain Accumulates 1,4/2,5 Cyclohexanetetrol in Response to Increased Salinity. Journal of Phycology, 45(2), 395-403.
- Geurts, J., Sarneel, J., Dionisio Pires, M., Milder-Mulderij, G., Schouwenaars, J., Klinge, M., Verhoeven, J., Van der Wielen, J., Jaarsma, N., Verberk, W., Esselink, H., Ibelings, B. W., Van Donk, E., Roelofs, J. G. M., et al. (2008). Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Nijmegen: Ministerie van LNV.
- Gmelig Meyling, A. W., & De Bruyne, A. W. (2006, 12-12-2006). Platte schijfhoren Retrieved 31-12-2011, 2011, from <http://www.anemoon.org/natura-2000/soorten/platte-schijfhoren>
- Goodman, A. M., Ganf, G. G., Dandy, G. C., Maier, H. R., & Gibbs, M. S. (2010). The response of freshwater plants to salinity pulses. Aquatic Botany, 93(2), 59-67.
- Halse, S. A., Shiel, R. J., & Williams, W. D. (1998). Aquatic invertebrates of Lake Gregory, northwestern Australia, in relation to salinity and ionic composition. Hydrobiologia, 381, 15-29.
- HHSK (2009). Waterbeheerplan HHSK 2010-2015 Goed voor elkaar. Rotterdam: Hoogheemraadschap Schieland & Krimpenerwaard.
- Hoogewoud, J. C., Veldhuizen, A. A., & Prinsen, G. (2011). NHI toetsing Ontwikkeling en toepassing van methode voor toetsing van NHI 2.1, inclusief vergelijking met NHI2.0. . Utrecht: Deltares.
- Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (2009). 6. Watersysteem Retrieved 02-03-2012, 2011, from http://www.schielandendekrimpenerwaard.nl/actueel/nieuwsarchief/@34173/6_watersysteem/
- Jacobsen, J. L., Skov, C., Koed, A., & Berg, S. (2007). Short-term salinity tolerance of northern pike, *Esox lucius*, fry, related to temperature and size. Fisheries Management and Ecology, 14(5), pages 303–308.
- James, K. R., Cant, B., & Ryan, T. (2003). Responses of freshwater biota to rising salinity levels and implications for saline water management: a review. Australian Journal of Botany, 51(6), 703-713.
- Jørgensen, A. T., Hansen, B. W., Vismann, B., Jacobsen, J. L., Skov, C., Berg, S., & Bekkevold, D. (2010). High salinity tolerance in eggs and fry of a brackish *Esox lucius* population. Fisheries Management and Ecology, 17(6), 554-560.
- Jurajda, P. (1995). Effect of channelization and regulation on fish recruitment in a flood plain river: Regulated Rivers Research and Management. 10, 207-215.



- Keizer-Vlek, H. E., De Lange, H. J., & Verdonschot, P. F. M. (2010). Abiotische randvoorwaarden Deel 3 Matige, grote ondiepe laagveenplassen. Wageningen: Alterra.
- Keizer-Vlek, H. E., Didderen, K., & Verdonschot, P. F. M. (2009). Abiotische Randvoorwaarden en natuurdoelen in kunstmatige wateren: deel 2: ondiepe laagveen plassen. Wageningen: Alterra.
- Keizer-Vlek, H. E., & Verdonschot, P. F. M. (2008). Abiotische Randvoorwaarden en natuurdoelen in kunstmatige wateren: deel 1: gebufferde laagveen sloten. Wageningen: Alterra.
- Klijn, F., Ter Maat, J., & Van Velzen, E. (2011). Zoetwatervoorziening Nederland landelijke knelpuntenanalyse 21ste eeuw. Utrecht: Deltares.
- Kraaijeveld, M. (2003). Een SOBEK-model van het Noordelijk Deltabekken: kalibratie en verificatie zoutbeweging Noordrand. Dordrecht: RIZA.
- Krebs, B., Fortuin, A., & Boeyen, H. (1995). Brakke binnenwateren het beschermen waard. *De levende natuur*, 96(1), 14-19.
- Kroon, T., & Ruigh, E. (2011). Deltamodel: Functionele specificaties en kwaliteitseisen: Deltaprogramma.
- Kuijs, E. K. M., & Steenbergen, J. (2011). Zoet-zoutovergangen in Nederland; stand van zaken en kansen voor de toekomst. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011. Wageningen: Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- Luther, H. (1951). Verbreitung und Ökologie der höheren Wasserpflanzen im Brackwasser der Ekenäs-Gegend in Südfinnland. I Allgemeiner Teil. *Acta Botanica Fennica* 49, 1-187.
- Maessen, M., De Swart, E. O. A. M., Van der Pouw-Kraan, E., & Cuppen, H. (2008). Ecologische normen en beoordeling van de KRW waterlichamen binnen het beheersgebied van Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard: Grontmij.
- Martinez-Taberner, A. (1988). Caracteristiques limnologiques de s'Albufera de Mallorca., Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca.
- Meinhardi, K. (2005). Stroom van water en stoffen door de bodem en naar de sloten in de Vlietpolder. Bilthoven: RIVM.
- Mes, R., Smeets, L., & Van der Eijk, D. (2008). Achtergrondstudie 2. Natuur, Droogte en Bodemkansen. Den Haag: Xplorelab. Provincie Zuid-Holland.
- Ministerie van I&M, & Ministerie van EL&I (2011). Deltaprogramma 2011: Werk aan de delta. Debn Haag.
- Waterakkoord Kleinschalige Wateraanvoorzieningen Midden-Holland (2005).
- Moroz, V. N. (1968). Biology of the tench *Tinca tinca* (L.) in the Kiliya Channel, Danube Delta. *Problems of Ichthyology*, 8(1), 81-89.
- Moyle, P. B. (2002). *Inland fishes of California* (2d ed.). Berkeley: University of California Press.
- Nelen & Schuurmans (2006). BOS boezeminlaat: handleiding en achtergronden: Nelen&Schuurmans.
- Neophitou, C. (1993). Some biological data on tench (*Tinca tinca* [L.]) in Lake Pamvotida (Greece). *Acta Hydrobiologia*, 35(4), 367-379.
- Nielsen, D. L., Brock, M. A., Rees, G. N., & Baldwin, D. S. (2003). Effects of increasing salinity on freshwater ecosystems in Australia. *Australian Journal of Botany*, 51(6), 655-665.
- Nijboer, R. C., Verdonschot, P. F. M., & Van den Hoorn, M. W. (2003). Macrofauna en vegetatie van de Nederlandse sloten: een aanzet tot de beoordeling van de ecologische toestand. Wageningen: Alterra.

- Nolte, A. W., Freyhof, J., Stemshorn, K. C., & Tautz, D. (2005). An invasive lineage of sculpins, *Cottus* sp. (Pisces, Teleostei) in the Rhine with new habitat adaptations has originated from hybridization between old phylogeographic groups. *Proc Biol Sci.*, 272(1579), 2379-2387.
- O'Maoileidigh, N., & Bracken, J. J. (1989). Biology of the tench, *Tinca tinca* (L.), in an Irish lake. *Aquaculture and Fisheries Management*, 20, 199-209.
- Ogink, H. J. M. (2010). Validatie van NHI voor Midden en West Nederland; de jaren 2003 en 2006. Amersfoort: STOWA.
- Ogink, H. J. M., & Klopstra, D. (2011). Toetsing NHI 2.0 in de regio (samenvatting). Amersfoort: STOWA.
- Paulissen, M. P. C. P., Schouwenberg, E. P. A. G., & Wamelink, G. W. W. (2007). Zouttolerantie van zoetwatergevoede natuurdoeltypen; verkenning en kennislacunes. Wageningen: Alterra.
- Peereboom, D., Okhuijsen-Schepman, T., Van Suilekom, J. J., & Haarsma, A. J. (2008). Thema-rapport Natuur - Natuurwaarden in de Zuidplaspolder. Nieuwerkerk aan den IJssel: Adviesbureau E.C.O. Logisch.
- Remane, A., & Schlieper, C. (1971). *Biology of brackish water*. New York: John Wiley & Son.
- Rijkswaterstaat (2009). *Handreiking Watertekort en Warmte - Factsheet Verdringingsreeks*. Lelystad: Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat directie Zeeland, Waterdienst, Deltares, Royal Haskoning, & Arcadis (2009). *Milieueffectrapportage Waterkwaliteit Volkerak-Zoommeer (Ontwerp-MER)*.
- Roelofs, J. G. M. (1991). Inlet of Alkaline River Water into Peaty Lowlands - Effects on Water-Quality and *Stratiotes-Aloides* L Stands. *Aquatic Botany*, 39(3-4), 267-293.
- Rosa, H., Jr., (1958). A synopsis of biological data on tench, *Tinca tinca*: Food and Agriculture Organization, Fisheries Division.
- Runhaar, J., Van der Linden, M., & Witte, J. P. M. (1997). *Waterplanten en saliniteit: CML, RIZA, LUW*.
- Runhaar, J., Verdonschot, P. F. M., Nijboer, R. C., Van Bakel, P. J. T., Blok, M., Hendriks, R. F. A., & Massop, H. (2006). *Natuur in de verdringingsreeks*. Wageningen: Alterra.
- Schmölcke, U., & Ritchie, K. (2010). A new method in palaeoecology: fish community structure indicates environmental changes. *International Journal of Earth Sciences*, 99(8), 1763-1772.
- Schultz van Haegen-Maas Geesteranus, M. H. (2004). Waterbeleid 27 625 BRIEF VAN DE STAATSSECRETARIS VAN VERKEER EN WATERSTAAT Vergaderjaar 2003-2004 Nr. 38. Retrieved 07-03-2012, 2012, from <http://www.rijksbegroting.nl/algemeen/gerefererd/7/6/2/kst76235.html>
- Schuurmans, J. M., & Droogers, P. (2010). *Penman-monteith referentieverdamming: inventarisatie beschikbaarheid en mogelijkheden tot regionalisatie*. Amersfoort.
- Skinner, R., Sheldon, F., & Walker, K. F. (2001). Propagules in dry wetland sediments as indicators of ecological health: Effects of salinity. *Regulated Rivers-Research & Management*, 17(2), 191-197.
- Smit, H., & Van der Hammen, H. (2000). *Atlas van de nederlandse watermijten (acari: hydrachnidia)*. Leiden.
- Smolders, A., & Roelofs, J. G. M. (1995). Internal Eutrophication, Iron Limitation and Sulfide Accumulation Due to the Inlet of River Rhine Water in Peaty Shallow Waters in the Netherlands. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 133(3), 349-365.
- Smolders, A. J. P., denHartog, C., & Roelofs, J. G. M. (1995). Observations on fruiting and seed-set of *Stratiotes aloides* L in the Netherlands. *Aquatic Botany*, 51(3-4), 259-268.

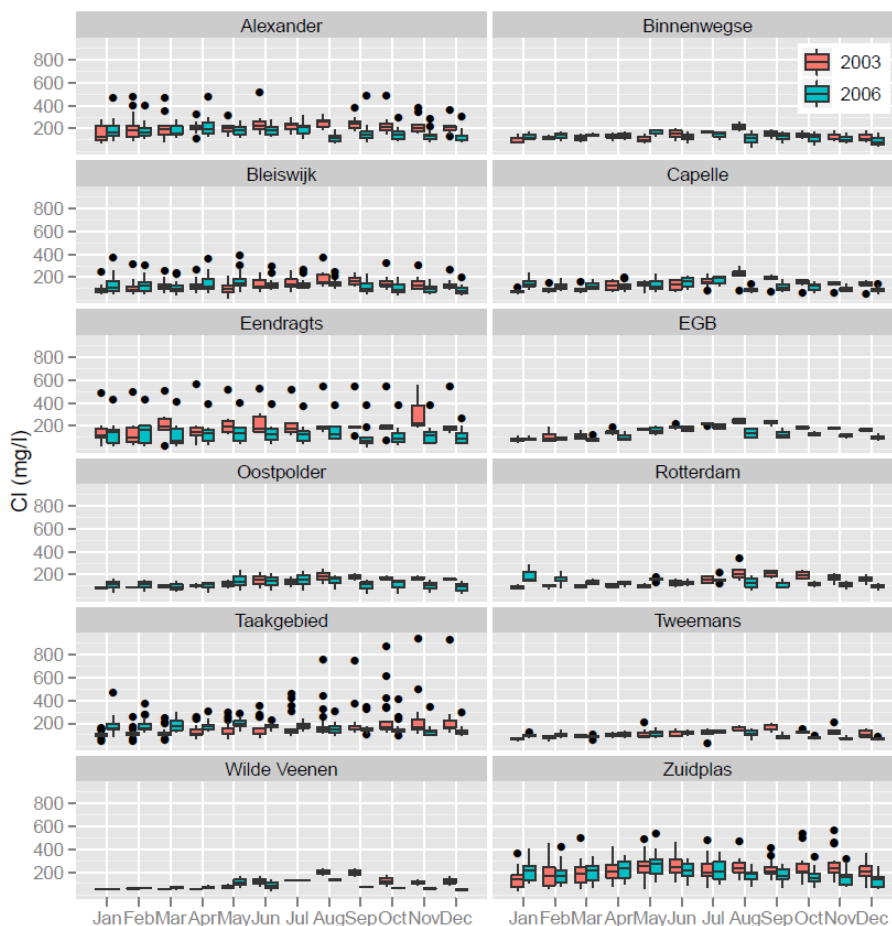


- Smolders, A. J. P., Ketelaar, R., Mostert, K., Rintjema, S., Smolders, F., Van der Winden, J., & Zandberg, M. (2002). Verlanden van verbanden: de levensgemeenschap van de krabben-scheer. NVL Nieuwsbrief, 4, 5-7.
- Smolders, A. J. P., Lamers, L. P. M., Den Hartog, C., & Roelofs, J. G. M. (2003). Mechanisms involved in the decline of *Stratiotes aloides* L. in The Netherlands: sulphate as a key variable. *Hydrobiologia*, 506–509, 603–610.
- STOWA (2011). Limnodatabase Retrieved 01-05-2011, 2011, from www.limnodata.nl
- Stuyfzand, P. J. (1993). Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam.
- Stuyt, L. C. P. M., Van Bakel, P. J. T., & Massop, H. T. L. (2011). Basic Survey Zout en Joint Fact Finding effecten van zout - Naar een gedeeld beeld van het zoetwaterbeheer in laag Nederland. Wageningen: Alterra.
- Swartjes, F. A., & Verbruggen, E. M. J. (2006). Toetsing van Chloride in grondwater. Bilthoven: RIVM.
- Thiel, R., Sepúlveda, A., Kafemann, R., & Netten, W. (2006). Environmental factors as forces structuring the fish community of the Elbe Estuary. *Journal of Fish Biology*, 46(1), 47-69.
- Timms, B. V. (1998). Further studies on the saline lakes of the eastern Paroo, inland New South Wales, Australia. *Hydrobiologia*, 381, 31-42.
- Tomlinson, M. L., & Perrow, M. R. (2003). Ecology of the Bullhead *Cottus gobio*. Peterborough: English Nature.
- UNESCO (1973). Second report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards. In UNESCO (Ed.), UNESCO technical papers in marine science (Vol. 16). Kiel.
- Van Bakel, P. J. T., & Stuyt, L. C. P. M. (2011). Actualisering van de kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaringen. Wageningen: Alterra.
- van den Brink, F. W. B., & van der Velde, G. (1993). Growth and morphology of four freshwater macrophytes under the impact of the raised salinity level of the Lower Rhine. *Aquatic Botany*, 45(4), 285-297.
- Van den Broek, T., & Van-Kampen-Brouwer (2003). Streefbeeld voor een evaluatie van het ecologisch maaibeheer van watergangen in het beheergebied van Schieland. Rotterdam: Royal Haskoning.
- Van den Hurk, B., Klein Tank A., Lenderink G., Ulden A. van, Oldenborgh G.J. van, Katsman C., Brink H. van den, Keller F., Bessembinder J., Burgers G., Komen G., Hazeleger W., & Drijfhout S. (2006). KNMI Climate change Scenarios 2006 for the Netherlands.
- Van der Linden, M., & Van Zetten, J. W. (2001). Een SOBEM-model van het Noordelijk Delta-bekken: bouw, kalibratie en verificatie. Dordrecht.
- Van der Swaluw, E., Asman, W. A. H., & Hoogerbrugge, R. (2010). The Dutch National Precipitation Chemistry Monitoring Network over the period 1992-2004. Bilthoven: RIVM.
- Van Steekelenburg, M., Goosen, H., Mes, R., Peen, M., Van Pelt, F., & Smeets, L. (2009). Klimaatadaptatie in de Zuidplaspolder. Den Haag: Provincie Zuid-Holland/Onderzoeksprogramma Klimaat voor Ruimte.
- Van Vlaardingen, P. L. A., & Verbruggen, E. M. J. (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, Nederland: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).
- Van Waveren, H., Van Vliet, G., & Eulen, J. (2009). Factsheet kleinschalige wateraanvoer voorzieningen, versie 2.1. Lelystad: Rijkswaterstaat/ LCW.

- Veraart, J. A., De Groot, R. S., Perello, G., Riddiford, N. J., & Roijackers, R. M. M. (2004). Selection of (bio)indicators to assess effects of freshwater use in wetlands: a case study of s'Albufera de Mallorca, Spain. *Regional Environmental Change*, 4(2-3), 10.
- Verbruggen, E. M. J., Moermond, C. T. A., Janus, J. A., & Lijzen, J. P. A. (2008). Afleiding van milieurisicogrenzen voor chloride in oppervlaktewater, grondwater, bodem en waterbodem Bilthoven: RIVM.
- Verdonschot, P. F. M. (1990). Ecologische karakterisering van oppervlaktewateren in Overijssel. Het netwerk van cenotypen als instrument voor ecologisch beheer, inrichting en beoordeling van oppervlaktewateren. Leersum: Rijksinstituut voor Natuurbeheer.
- Verdonschot, P. F. M., & Nijboer, R. C. (2000). Typology of macrofaunal assemblages applied to water and nature management: a Dutch approach. In J. F. Wright, S. W. Sutcliffe & M. T. Furse (Eds.), *Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques. The RIVPACS International Workshop, 16-18 September 1997, Oxford, UK* (pp. 241-262). Ambleside, Cumbria, UK: Freshwater Biological Association.
- Versteeg, R., Klopstra, D., & Kroon, T. (2005). Droogtestudie Nederland: watertekortopgave : eindrapport. Lelystad.
- Voogt, W. (2009). Verzilting oppervlaktewater en glastuinbouw. De gevolgen van een zout Volkerak-Zoommeer voor de watervoorziening van glastuinbouw in Zuid-West Nederland.: Wageningen UR Glastuinbouw.
- Vos, C. C., Schaap, B., & Tamis, W. L. M. (2011). Climate change and habitat fragmentation; impacts and adaptation strategies. Wageningen/Amsterdam: Alterra.
- VROM (1999). Stoffen en normen 1999 - Overzicht van belangrijke stoffen en normen in het Milieubeleid.
- Wamelink, G. W. W., & Runhaar, J. (2000). Abiotische Randvoorwaarden voor natuurdoeltypen. Wageningen: Alterra.
- Weatherley, A. H. (1959). Some Features of the Biology of the Tench *Tinca tinca* (Linnaeus) in Tasmania. *Journal of Animal Ecology*, 28(1), 73-87.
- Weeda, E., Westra, R., Westra, C., & Westra, T. (1991). Nederlandse Oecologische Flora, Wilde Planten en hun Relaties, deel 4.: IVN/VARA/VEWIN.
- Wheeler, A. (1969). *The fishes of the British Isles and north-west Europe*. East Lansing: Michigan State University Press.
- WHO (Ed.) (1996) (second edition ed., Vols. 2, Health Criteria and other supporting information). Geneve, Switzerland: World Health Organisation.
- WHO (Ed.) (2004) (Third edition ed., Vols. 1, Recommendations). Geneve, Switzerland: World Health Organisation.
- Wieser, W. (1991). Physiological energetics and ecophysiology. In I. J. Winfield & J. S. Nelson (Eds.), *Cyprinid fishes: Systematics, biology and exploitation* (pp. 426-455). London: Chapman and Hall.
- Williams, W. D., De Deckker, P., & Shiel, R. J. (1998). The limnology of Lake Torrens, an episodic salt lake of central Australia, with particular reference to unique events in 1989. *Hydrobiologia*, 384, 101-110.
- Yilmaz, F. (2002). Reproductive biology of the tench *Tinca tinca* (L., 1758) inhabiting Porsuk Dame Lake (Kutahya, Turkey). *Fisheries Research*, v. 55, no. 1-3, p. , 55(1-3), 313-317.



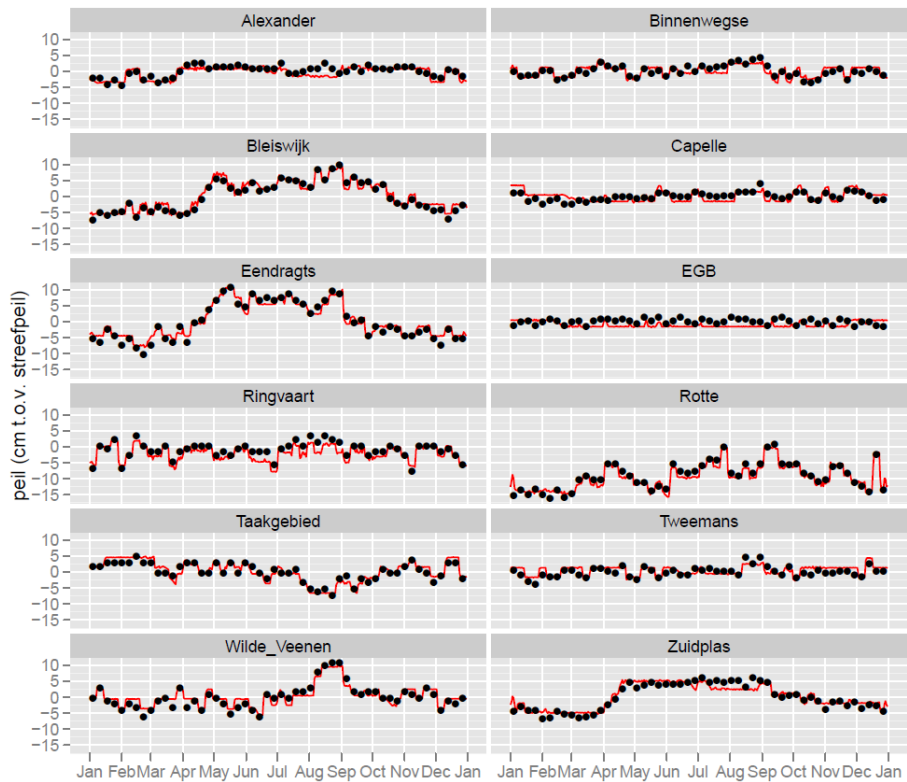
Bijlage A



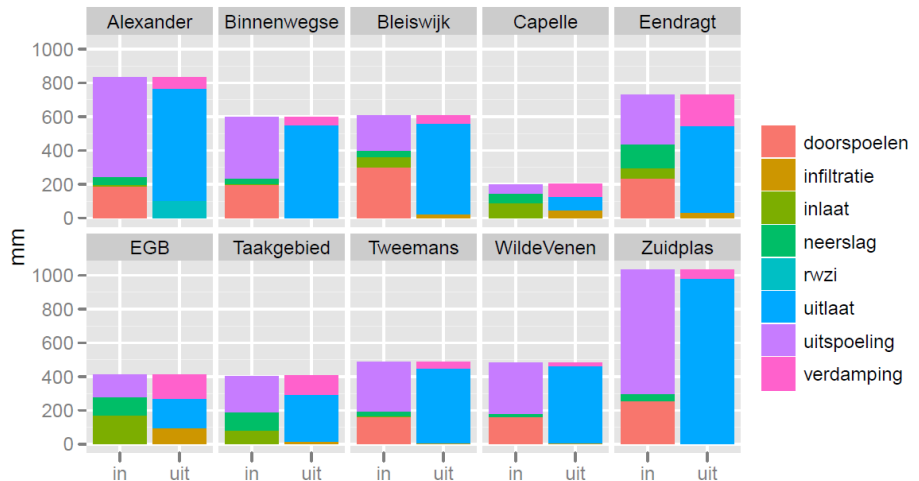
Figuur A.1: Gemeten chloride concentraties in 2003 en 2006 in de polderwaterlopen van de Schieland polder, weergegeven door een boxplot. Box loopt van 25^e percentiel tot 75^e percentiel, middelste streep geeft mediaan. Punten geven 'outliers'. (Taakgebied = Schiebroek).

Tabel A.1: Oppervlaktewaterbalans van de Schieland polder in 2003, volgend uit model

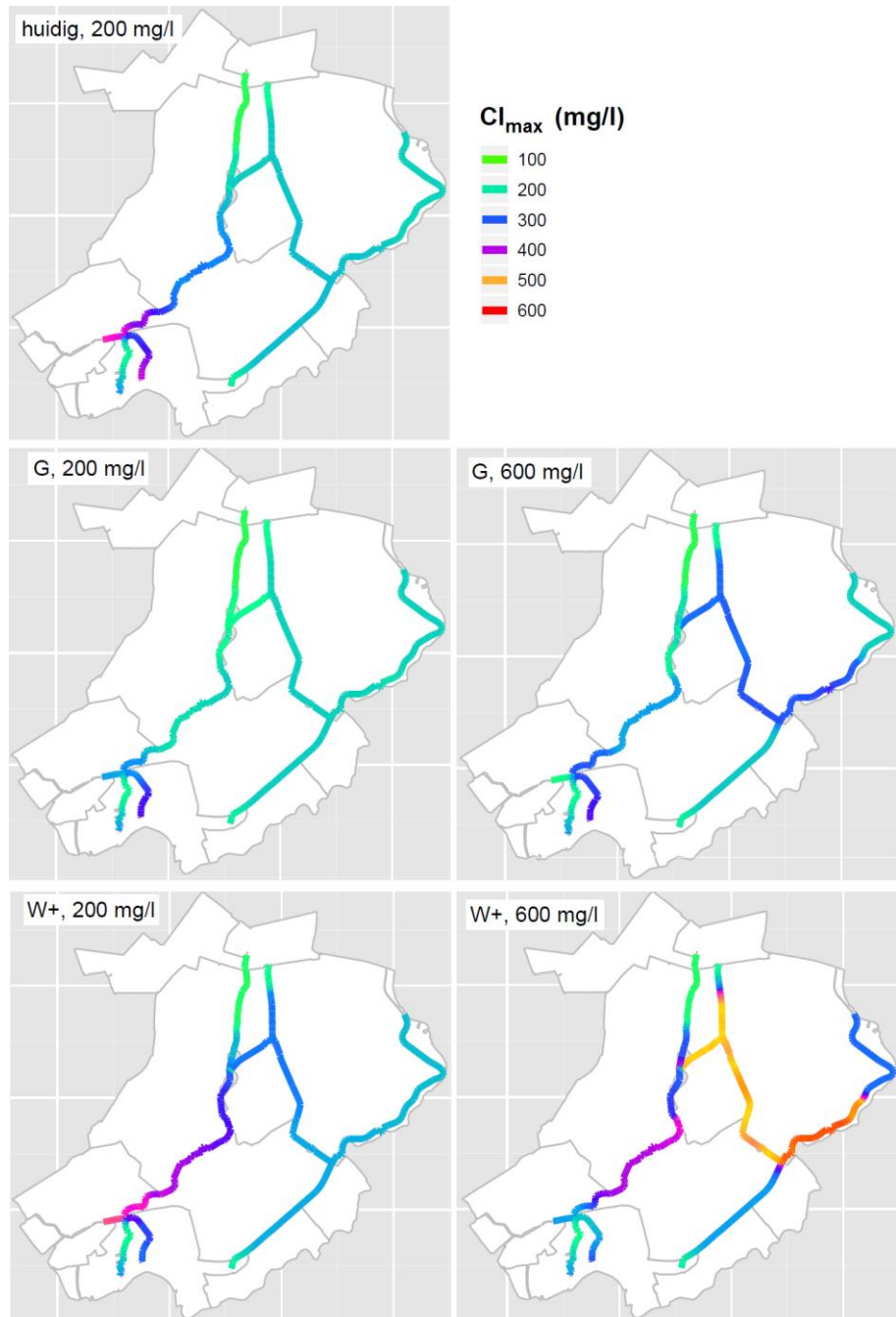
In (mm)			Uit (mm)		
neerslag		54	verdamping		69
uitspoeling		422	infiltratie		14
inlaat	- Snelle sluis	28	uitlaat	- Zuidplas	197
	- Schilthuis	40		- Abraham Kroes	98
	- Bergsluis	32		- Schilthuis	173
				- EGB	6
				- Capelle	4
				- Alexander (rwzi)	16
totaal		576	totaal		577



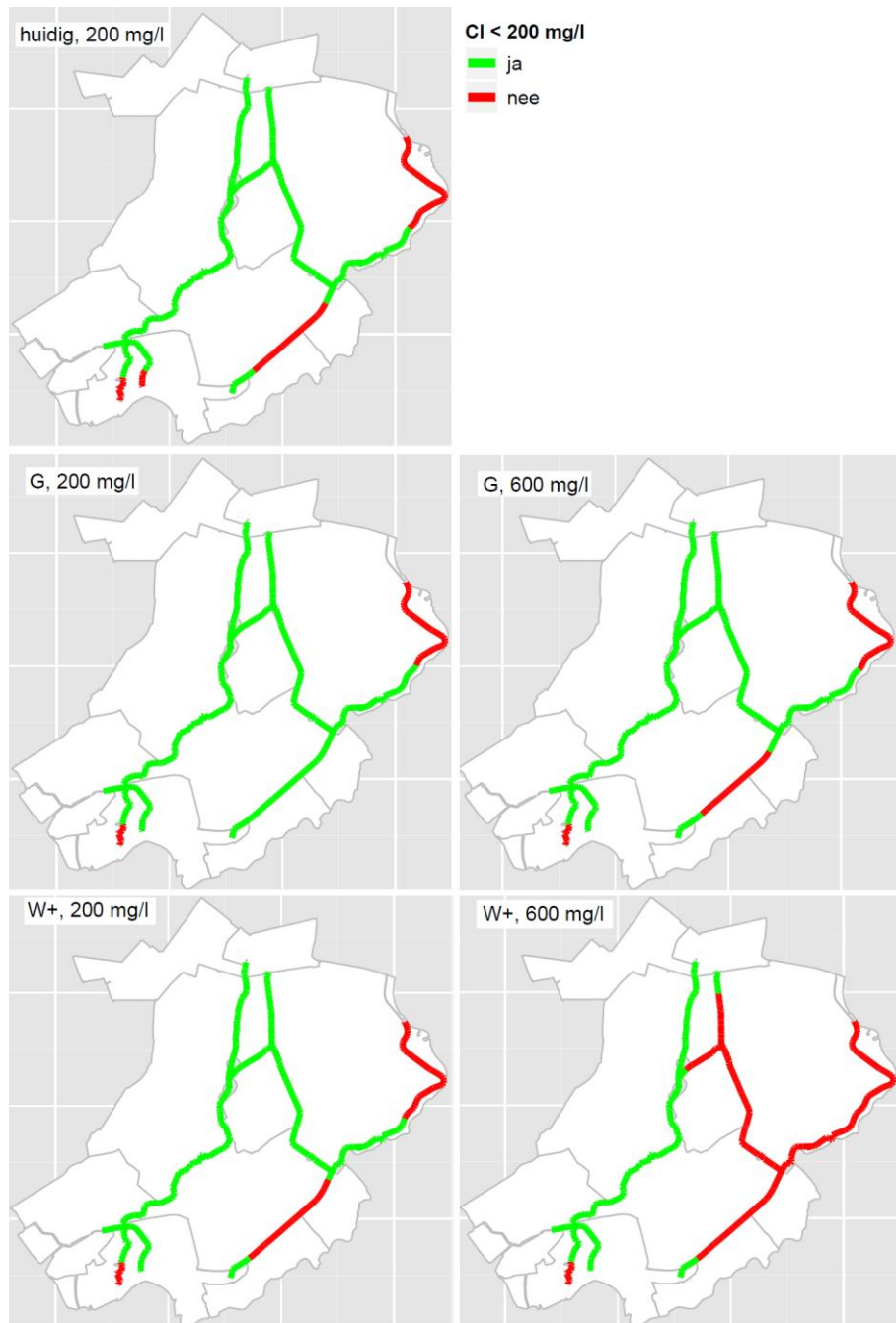
Figuur A.2: Peilschommelingen in 2003 in de polders en het boezemsysteem van de Schieland polder. Rode lijn = modelsimulatie, zwarte punten = metingen (HHSK). Het streeppeil van de Rotte is -1m NAP, dat van de Ringvaart is -2.15 m NAP. (Taakgebied = Schiebroek).



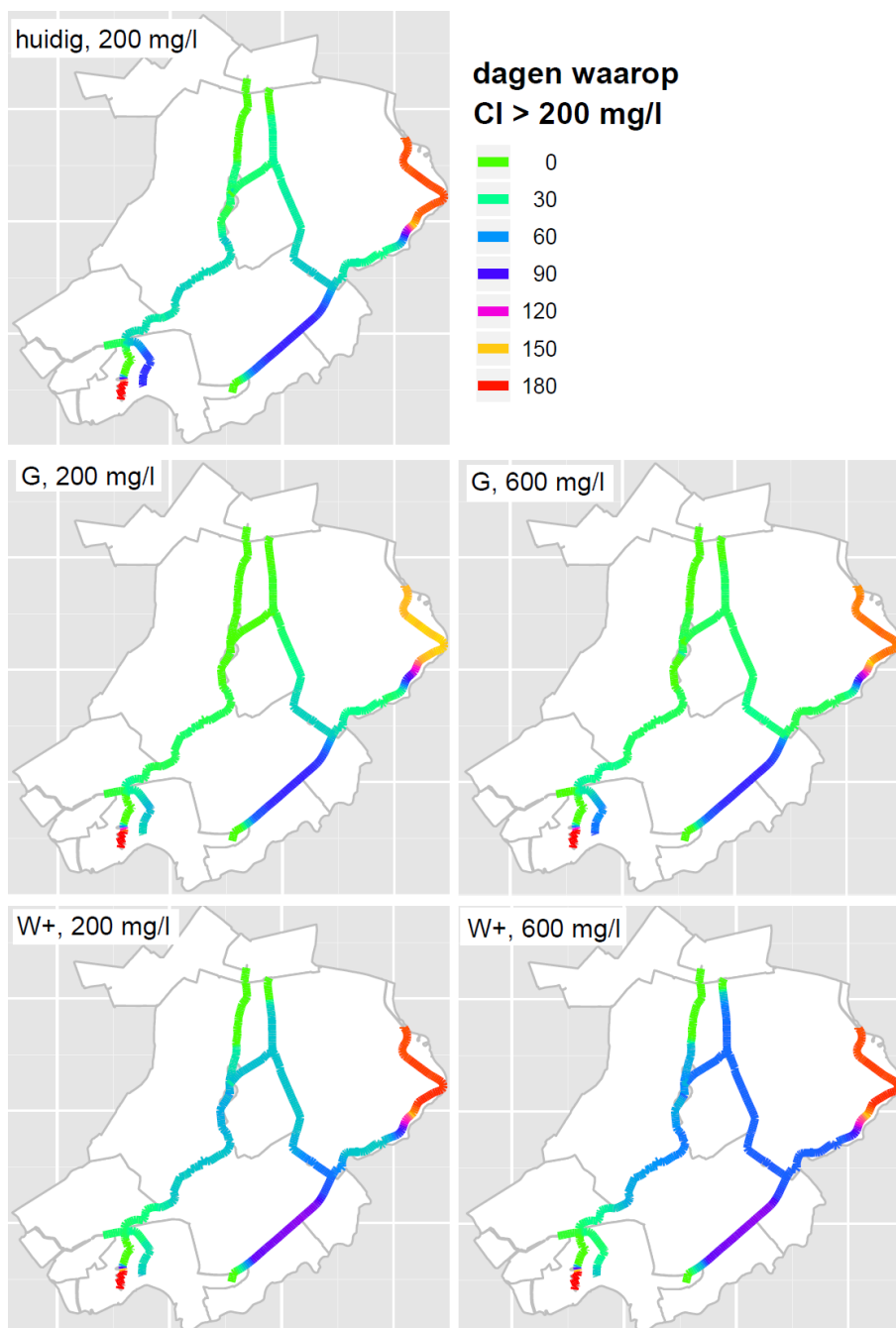
Figuur A.3: Oppervlaktewaterbalans per polder in 2003, volgend uit model (Taakgebied = Schiebroek)



Figuur A.4: De toekomstige maximale chlorideconcentratie in het zomerhalfjaar in het boezemsysteem, voor de 2 klimaatscenario's (zichtjaar 2050, referentiejaar 2003) onder 2 chloride inlaatnormen (200 en 600 mg/l). De huidige gemodelleerde situatie is linksboven weergegeven.



Figuur A.5: Delen van de boezem (rood) waar de toekomstige zomerhalfjaargemiddelde chloride concentratie de norm van 200 mg/l overschrijdt, voor de 2 klimaatscenario's (zichtjaar 2050, referentiejaar 2003) onder 2 chloride inlaatnormen (200 en 600 mg/l), vergeleken met de huidige situatie (referentiejaar is 2003)



Figuur A.6: Met het model berekende aantal dagen in het zomerhalfjaar dat de chloridenorm van 200 mg/l wordt overschreden, voor de 2 klimaatscenario's (zichtjaar 2050) onder 2 chloride inlaatnormen (200 en 600 mg/l), vergeleken met de huidige situatie (referentiejaar is 2003)



Ontwikkelen van wetenschappelijke en toegepaste kennis voor een
klimaatbestendige inrichting van Nederland en het creëren van een
duurzame kennisinfrastructuur voor het omgaan met klimaatverandering

Contactinformatie

Programmabureau Kennis voor Klimaat

Secretariaat:

p/a Universiteit Utrecht

Postbus 80115

3508 TC Utrecht

T +31 88 335 7881

E office@kennisvoorklimaat.nl

Communicatie:

p/a Alterra, Wageningen UR

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T +31 317 48 6540

E info@kennisvoorklimaat.nl

www.kennisvoorklimaat.nl

