Effectief inlaatregiem zoetwatervoorziening Pilot modellering €ureyeopener voor het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Peter Schipper, Ab Veldhuizen en Joop Kroes

Effectief inlaatregiem zoetwatervoorziening Pilot modellering €ureyeopener voor het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Peter Schipper, Ab Veldhuizen en Joop Kroes

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra, in opdracht van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Ook is een bijdrage geleverd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van kennisbasis onderzoek voor het thema Slim met Zoet (KB-project 14-001-064).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, oktober 2016

Rapport 2757
ISSN 1566-7197

In de Nederlandse delta is een uitgekiend waterbeheer van wezenlijk belang voor veiligheid en zoetwatervoorziening. Nu het klimaat verandert en kapitaal intensievere landbouw en andere watergebruikers meer zekerheid willen over de levering van zoet water, is de vraag hoe de zoetwatervoorziening kan worden verbeterd en robuust kan worden gemaakt. In veel gebieden hebben de waterbeheerders nog geen goed overzicht hoe het complexe systeem van zoetwateraanvoer tijdens droge perioden functioneert. Dit komt omdat de zoet-zoutpatronen sterk van plaats tot plaats verschillen, inlaten vaak diffuus van aard zijn en niet worden bemeten en watergebruik voor berekening niet wordt geregistreerd. Zij weten daarom in veel gebieden niet hoe effectief het huidige inlaatregiem is en welke maatregelen geschikt zijn om de zoetwatervoorziening te verbeteren. Het modelconcept de €ureyeopener is ontwikkeld om inzichten te bieden in de effectiviteit van de huidige zoetwateraanvoer en effecten van maatregelen. Het model berekent de wateraanvoerbehoefte, zoutgehalten, gewasschades en de kosten en baten van maatregelen. Voor het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) zijn de toepassingsmogelijkheden van dit modelconcept voor HHNK onderzocht door voor de Anna Paulownapolder een €ureyeopener model te maken. In dit gebied spelen voor HHNK nadrukkelijk beleidsvragen voor het voorzieningenniveau, de effecten van de nieuwe sluis bij IJmuiden, slim water management (efficiënter doorspoelen) en de extra zoet watervraag vanuit het Markermeer. Tot vóór de modelstudie had HHNK weinig zicht op de effectiviteit van het doorspoelregiem en de consequenties daarvan voor berekening en mogelijk optredende zoutschade. Het opgezette model geeft transparant inzicht in de uitwerking van het doorspoelregiem en de opbrengstderving van gewassen als het zoutgehalte van het polderwater verandert. In deze rapportage worden de stappen en het resulterende model beschreven. Ten opzichte van eerdere modellen is specifiek aandacht besteed aan de modellering van tulpen en de wijze waarop in het model de waterinlaat kan worden geoptimaliseerd. Met het oog op de samenwerking met Deltares en Bakelse Stroom voor het ontwikkelen van regio-specifieke €ureyeopener modellen hebben zij meegewerkt aan een interne werksessie om een conceptversie van het model te beoordelen en verbeterpunten te identificeren. Ook heeft Deltares bijgedragen aan het formuleren van aanbevelingen.

Trefwoorden: regionaal waterbeheer, verzilting, zoetwaterbeheer, zoutschade, tulpen, landbouw, HHNK Anna Paulownapolder, doorspoelen, beslissingsondersteunend systeem, €ureyeopener.

Dit rapport is gratis te downloaden van <http://dx.doi.org/10.18174/400551> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2016 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

Alterra werkt sinds 2003 met een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.

In 2006 heeft Alterra een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001:2004.

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

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

Inhoud

	Woord vooraf	5
1	Inleiding	7
	1.1 Aanleiding	7
	1.2 Projectdoelstelling	8
	1.3 Aanpak	8
	1.4 Leeswijzer	8
2	Gebiedsbeschrijving	9
	2.1 Algemeen	9
	2.2 Waterhuishouding	10
	2.3 Bodem	12
3	Module Landbouwschade	14
	3.1 Zoutschade	14
	3.2 Aanpak	15
	3.3 Modelinvoer	15
	3.4 Resultaten scenario's SWAP-WOFOST	17
4	Watervraag module	20
	4.1 Kernpunten watervraagmodule	20
	4.2 Rekenmethode waterbalans en zoutbalans	21
	4.3 Opzet module Anna Paulownapolders	22
	4.4 Resultaten modellering referentie	24
5	Modelscenario's	27
	5.1 Huidig doorspoelregiem	27
	5.2 Optimalisatie van de streefconcentratie	28
	5.3 Sturen op lagere inlaatconcentraties	30
6	Conclusies & aanbevelingen	31
	6.1 Conclusies huidige modelopzet	31
	6.2 Aanbevelingen voor uitrol	32
	Literatuur	35

Woord vooraf

In dit project is expertise van de regionale (agro)hydrologie en hydrogeologie gecombineerd met economische expertise en door middel van de applicatie €ureyeopener toepasbaar gemaakt voor het verkrijgen van inzichten in de effectiviteit van het doorspoelen van zout water in polders van HHNK en het effect daarvan op gewasopbrengsten. De onderzoeksvraag of dit modelconcept toepasbaar is voor de polders van HHNK en de wijze waarop dit voor het gehele beheersgebied kan worden opgezet stond in deze studie centraal. De ontwikkelaars hopen met de nieuw ontwikkelde kennis en de bijbehorende applicatie een bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van beleid, gericht op verbetering van de zoetwatervoorziening in de regio en om de potentie van maatregelen als alternatieve zoetwateraanvoer, waterconservering en besparing te verkennen, en deze qua kosten-baten transparant te kunnen afwegen. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van HHNK. Ook is een bijdrage geleverd door het ministerie van Economische Zaken, in het kader van kennisbasis onderzoek voor het thema Slim met Zoet (KB-project 14-001-064). De auteurs bedanken Esmée Vingerhoed, Marcel Boomgaard en Jeroen Hermans die namens HHNK het onderzoek hebben begeleid voor het beschikbaar stellen van data en hun constructieve bijdrage aan het eindresultaat. Ook bedanken de auteurs Gualbert Oude Essink, Joost Delsman en Jan van Bakel voor hun feedback op conceptresultaten en ideeën voor verbetering van het modelconcept.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de Nederlandse delta is een uitgekiend waterbeheer van wezenlijk belang voor veiligheid en zoetwatervoorziening. Nu het klimaat verandert en kapitaal intensievere landbouw en andere watergebruikers meer zekerheid willen over de levering van zoet water, is de vraag hoe de zoetwatervoorziening kan worden verbeterd en robuust kan worden gemaakt.

In veel gebieden hebben de waterbeheerders nog geen goed overzicht hoe het complexe systeem van zoetwateraanvoer tijdens droge perioden functioneert. Dit komt omdat de zoet-zoutpatronen sterk van plaats tot plaats verschillen, inlaten vaak diffuus van aard zijn en niet worden bemeten en watergebruik voor berekening niet wordt geregistreerd. Zij weten daarom in veel gebieden niet hoe effectief het huidige inlaatregiem is en welke maatregelen geschikt zijn om de zoetwatervoorziening te verbeteren.

Het model de **€ureyeopener** is ontwikkeld om inzichten te bieden in de effectiviteit van de huidige zoetwateraanvoer en effecten van maatregelen. Het model berekent de wateraanvoerbehoefte, zoutgehalten, gewasschades en de kosten en baten van maatregelen. (zie kader).

De **€ureyeopener** bestaat uit 4 aan elkaar gekoppelde modules (zie Figuur 1.1). De watervraag module berekent de watervraag en zoutgehalten van het oppervlaktewater op basis van water- en zoutbalansen termen en een analytische formule voor het doorspoelen met zoet inlaatwater. De landbouwschade module berekent de zout-, droogte- en natschade op basis van de vocht- en zouthuishouding van gemodelleerde bodem-gewas profielen en zoutgehalten van beregeningswater. De schades worden omgerekend in kosten en baten op basis van (regio-specifieke) geldelijke gewasopbrengsten. Met de maatregelen module worden scenario's aangestuurd. Deze module is zo opgezet dat allerlei typen maatregelen ingevoegd kunnen worden.

Figuur 1.1 Schematische weergave modules **€ureyeopener**.

In de opzet wordt gerekend op maandbasis voor een langjarige periode (bv 1970 t/m 2010). Gebruikers kunnen tijdens overleggen met stakeholders (interactief) ingebouwde maatregelen invoeren of uitgangspunten zoals inlaatconcentraties veranderen. De €ureyeopener is ter ondersteuning van de strategieën voor het deelprogramma zoetwater als eerste ontwikkeld en toegepast voor Rijnland (Stuyt et al 2013) en vervolgens in de Zuidwestelijke Delta (Schipper et al 2014a). Ook is het toegepast voor afweging van een zout Volkerak-Zoommeer (Schipper et al, 2014b). Zo heeft het model al in grote delen van de Nederlandse delta bewezen de gewenste inzichten te bieden rond het deelprogramma zoetwater.

Voor het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) is in 2014 een afstudeeronderzoek uitgevoerd naar de toepassing van het concept van de €ureyeopener voor de Anna Paulownapolder (Lu Xiong, 2014). De resultaten hiervan gaven aanleiding om de toepassingsmogelijkheden voor HHNK nader te onderzoeken. Relevante aanknopingspunten voor het HHNK zijn de beleidsvragen voor het voorzieningenniveau (bijvoorbeeld inlaat op maat voor de Oostpolder), de effecten van de nieuwe sluis bij IJmuiden, slim water management (efficiënter doorspoelen) en de extra zoet watervraag vanuit het Markermeer. Daarom heeft HHNK in 2014 (kenmerk 14.0033.547) aan WUR-Alterra opdracht verleend om in een pilot de toepassingsmogelijkheden verder te onderzoeken door een nieuw €ureyeopener model voor de Anna Paulowna polder op te zetten. Alterra heeft voor de uitvoering van de pilot eigen middelen (circa 25 dagen) in kunnen zetten vanuit haar Kennisbasis programma 'Slim met Zoet'.

1.2 Projectdoelstelling

Het doel voor de pilot is om voor de Anna-Paulownapolder in beeld te brengen hoe effectief het operationeel beheer voor waterinlaat is en welk voorzieningenniveau haalbaar is gelet op de huidige beschikbaarheid van zoetwater. De meest recente versie van de CEO is opgezet voor de zuidwestelijke delta. Deze opzet is niet direct geschikt voor HHNK omdat het watersysteem voor zoetwatervoorziening wezenlijk anders is. Een nevendoelelstelling is daarom om in de pilot na te gaan wat een geschikte methodiek is om de €ureyeopener op te zetten en uit te rollen in het beheersgebied van HHNK.

1.3 Aanpak

De pilot is uitgevoerd volgens met volgende stappenplan:

- Inventarisatie: gebiedsafbakening, inventarisatie gewenste functionaliteiten, verzamelen en bestuderen data en modellen
- Gebiedsanalyse: landgebruik, gewassen, bodem, grondwater, routing en inlaatregiem
- Modelleren huidige situatie
- Scenario's operationeel beheer zoetwatervoorziening

De pilot is uitgevoerd door Alterra. De voorgaande versies van de €ureyeopener zijn ontwikkeld door een consortium bestaande uit de WUR (Alterra, LEI), Deltares en Bakelse Stroom. Met experts van deze partijen is tussentijds van de pilot in een werksessie de opzet van het model en de deelresultaten geëvalueerd. Na deze werksessie is het model voor de pilot uitgebreid met een extra functie voor optimalisatie van het doorspoelregime en zijn de scenario's voor het operationele beheer berekend.

1.4 Leeswijzer

De onderhavige rapportage beschrijft de resultaten van de opzet en toepassing van de €ureyeopener voor de Anna Paulowna polder in de kop van Noord-Holland. Hoofdstuk 2 behandelt de gebiedsanalyse en de uitgangspunten voor de gekozen modelstructuur; hoofdstuk 3 de opzet en deelresultaten van de landbouwschade module en hoofdstuk 4 de opzet van de water vraag module en resultaten van de berekening van de huidige situatie. De resultaten van rekenscenario's worden behandeld in hoofdstuk 5. De conclusies en aanbevelingen voor de verdere ontwikkeling en toepassing van de €ureyeopener in het beheersgebied van HHNK zijn geformuleerd in hoofdstuk 6.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Algemeen

In 1844 verleende de koning een concessie voor de droogmaking van de kleiige aanwassen van de Anna-Paulownapolder. Drie jaar later, in 1847, was de nieuwe polder droog. De opbrengst van de te bebouwen landerijen bleef aanvankelijk ver beneden peil, zodat veel pachters hun polderlasten niet konden voldoen. De hele onderneming bleek een grote financiële strop. Pas in 1913, met de invoering van de kunstmest en het vestigen van een bloembollencultuur in deze streek, is de polder tot bloei gekomen. Het polderbestuur is per 1 januari 1980 opgeheven en opgegaan in het waterschap "De Aangedijkte Landen en Wieringen". Het waterschap is in 1994 samengegaan met enkele andere waterschappen in het nieuw gevormde waterschap Hollands Kroon. In 2003 vond er wederom een fusie plaats waarbij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier ontstond.

In de Anna Paulownapolder liggen de plaatsen Breezand en Kleine Sluis en de kleinere plaatsen Westeinde, Gelderse Buurt, Spoorbuurt en Van Ewijksluis. Het landgebruik is voor deze studie ontleend aan de Basis Registratie Percelen kaart (opname 2012, zie Figuur 2.1).

Figuur 2.1 Landgebruik landbouw volgens Basis Registratie Percelenkaart (opname 2012).

Anna Paulowna bestaat voor 86% uit landelijk gebied, 12% stedelijk gebied en 2,3% water. Van het landelijk gebied valt verreweg het grootste deel onder de categorie akkerbouw (83%), daarnaast is er nog 14% grasland. Er zijn er kleine percentages natuur (2%) en mais (1%). De belangrijkste economische activiteit in het gebied is het telen van bloembollen. Daarnaast zijn er andere teelten te vinden als aardappelen, bieten, uien, graszaad en boomkwekerijen.

Figuur 2.2 Maaiveldhoogten in m tov NAP.

2.2 Waterhuishouding

Het watersysteem is weergegeven in Figuur 2.3. Via de "molenvaarten" stroomt het water in oostelijke richting af richting Oude Veer. Een deel van het water wordt via de Middenvliet en het Balgkanaal direct afgevoerd op het Balgzandkanaal (Amstelmeerboezem). Het overige deel wordt uitgemaal door gemaal Wijdenes Spaans op de Van Ewijcksvaart. Het gedeelte ten oosten van de Oude Veer tot de Zwinweg is door middel van twee onderleiders verboden met het westelijk deel en wordt ook bemalen door gemaal Wijdenes Spaans. De bemalingseenheid Oostpolder wordt apart bemalen door gemaal Oosthoek.

Anna Paulowna hoog heeft aan de westkant twee inlaten, hoofdinlaat Westeinde en Kooy Hoek, waar vanuit de Schermerboezem de polder wordt voorzien van water. Van hieruit wordt het water via de Zandvaart, Molenvaart en Middelvliet verdeeld over de polder. Het gebied ten oosten van de Oude Veer wordt van water voorzien vanuit de Schermerboezem bij Oudesluis.

Het gebied bestaat uit meer dan 50 peilgebieden en een groot aantal (particuliere) peilafwijkingen (onderbemalingen). 's Zomers is de drooglegging in het bollenteeltgebied zeer gering. 's Winters is de drooglegging in de polder groter, dit wordt veroorzaakt doordat zomer- en winterpeil ongeveer 30 cm van elkaar verschillen. De akkerbouwgebieden hebben een vrij grote drooglegging. Een vereenvoudigde peilvakindeling is weergegeven in Figuur 2.4.

Figuur 2.3 Het oppervlaktewatersysteem met de indeling in het hoge en lage deel van de Anna Paulowna polder en de Oostpolder.

Figuur 2.4 Indeling in peilvakken, peilen in m tov NAP.

2.3 Bodem

Oorspronkelijk waren er veel krek en zwinen in het gebied die nu nog deels zichtbaar zijn. Het Oude Veer is een overblijfsel van dit systeem. Via het Marsdiep zijn aanvankelijk veel zavelige en kleiige sedimenten aangevoerd. Omstreeks 1500 kwam hier verandering in en werden als gevolg van sterke kusterosie enorme pakketten zand gesedimenteerd. In de Anna Paulownapolder neemt de dikte en grofheid van het zand van west naar oost af. In het gebied zijn evenwijdig aan de Middenvliet enige zanden afgezet. De Anna Paulownapolder kan worden beschouwd als een aandijking, dit is een ingepolderde aanwas. De voorkomende bodemsoorten zijn weergegeven in Figuur 2.5.

Figuur 2.5 Bodemtypen (bron: HHNK 2014).

In de Anna Paulownapolder als geheel is de meest voorkomende grondsoort in het westen van de polder stuifzand. De Middenvliet volgt de rand van het oude zandplateau en geeft de overgang tussen zand- en kleigrond aan. In de ondergrond komen zavel- en kleiafzettingen voor met vaak een tussenlaag van veen. Tussen de Middenvliet en het Oude Veer is de bodem divers en bestaat uit zavel, klei en stuifzand. Ten noorden van Kleine sluis en bij Oosterwijk zijn nog enkele resten veengrond te vinden. Langs het Lage Oude Veer en het Waardkanaal liggen nog enkele eerdgronden. De Oostpolder bestaat bijna geheel uit zavel.

Anna Paulowna hoog bestaat volgens de bodemkaart voor 99 % uit zandgronden, zogenaamde stuifzandgronden en 1 % uit klei op veen resp. klei op zandgronden. Anna Paulowna laag bestaat volgens de bodemkaart voor 53% van het gebied uit kleigronden, bijna geheel bestaande uit kleigronden op veen, het overige deel bestaat voor 18% uit homogene zavelgronden, 24% uit stuifzandgronden en nog 6 % veengronden, vooral veengronden met moerige gronden op ongerijpte klei.

In Figuur 2.6 is het kwel-wijgzijgingspatroon weergegeven. In het hoge deel overheersen neutrale condities (nauwelijks kwel of wegzijging), in het lagere deel komt meer kwel voor, vooral rond het Oude Veer. Het overgrote deel van de landbouwgronden is gedraineerd. Hierdoor worden de freatische grondwaterstanden goed geconditioneerd. De zoutconcentraties onder de deklaag lopen uiteen van relatief zoet (<500 mg/l) in het westelijk deel tot zout (>5000) op kwelrijkere plekken (zie Figuur 2.7).

Figuur 2.6 Kwelintensiteit (mm/d) volgens het stationaire model van HHNK (Velstra et al, 2013).

Figuur 2.7 Zoutconcentratie (chloride in mg/l) onderkant deklaag (NHI).

3 Module Landbouwschade

3.1 Zoutschade

In zoutgevoelige gebieden is het van belang inzicht te hebben in zoutschade in de landbouw. Zoutschade kan ontstaan als wordt beregend met te zout water en/of als zout grondwater via capillaire opstijging naar de wortelzone wordt getransporteerd (Stuyt et al., 2006). Zout in de wortelzone van landbouwgewassen (en natuur) verhoogt de osmotische potentiaal waardoor wateropname door de wortels kan worden geremd, met verdampingsreductie en opbrengstderving tot gevolg. Ook kan beregening met zout water bladverbranding en structuurschade aan de bodem veroorzaken. De chlorideconcentratie in het oppervlaktewater is voor waterbeheerders van oudsher bepalend voor het doorspoelbeheer en een essentiële variabele om in beeld te brengen, omdat de chlorideconcentratie in het beregeningswater gelijk is aan die in het oppervlaktewater, als hieruit wordt berekend. Voor het regionale waterbeheer in zoutgevoelige regio's is de vraag van belang wat het effect is van de zoutconcentratie van door het waterschap aangevoerd beregeningswater op de zoutschade aan landbouwgewassen (Stuyt et al, 2013).

Voor de bepaling van de zoutschade aan gewassen gebruiken we de methode Maas-Hoffman (1977). In Stuyt et al (2013) wordt uitgebreid uitgelegd hoe deze methode werkt en kan worden toegepast in Eureyeopener. In het kort komt het er op neer dat de berekende zoutconcentratie in de wortelzone wordt gebruikt om de zoutschade te berekenen conform het verloop zoals weergegeven in Figuur 3.1.

Figuur 3.1 Zoutschade functies volgens Maas-Hoffman, met de functies van 4 gevoeligheidsklassen.

Zolang de concentratie lager is dan een drempel treedt geen schade op. Daarboven neemt de opbrengst lineair af met de zoutconcentratie. De drempel en de snelheid van afname zijn afhankelijk van het gewas. In Stuyt et al (2013) worden 4 typen gewassen geparameteriseerd; gevoelig, matig gevoelig, matig tolerant en zout tolerant. Hieraan is voor tulpen een zeer zoutgevoelige klasse toegevoegd. De drempelwaarden en afname van de opbrengst bij oplopende zoutgehalten zijn opgenomen in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Bollen worden ingedeeld in de klasse gevoelig, aardappelen in de klasse matig gevoelig. Per klasse afgeleide parameters voor zoutschadefunctie, gebaseerd op chlorideconcentraties in de waterverzadigde bodemonsters (Stuyt et al, 2013).

Zoutgevoeligheid-klasse	Zoutschade drempel (mg Cl/l)	Zoutschadegevoeligheid (opbrengstdaling (%) bij toename chloridegehalte met 100 mg/l)
Zeer gevoelig	130	25
Gevoelig	300	8
Matig gevoelig	600	4
Matig tolerant	1200	2
Tolerant	2400	1

De relatie tussen de zoutconcentratie van het beregeningswater en de zoutconcentratie van het bodemvocht in de wortelzone is afhankelijk van de fysische eigenschappen van de bodem (buffering, capillaire nalevering vanuit het grondwater), indikking door verdamping via bodem en gewas en de meteorologische omstandigheden als verdunning met regenwater. Hiervoor wordt het agrohydrologisch model SWAP (Kroes et al., 2009) gebruikt. Dit model rekent dynamisch in de tijd aan bodemvochtgehalte en zoutconcentratie. SWAP kent de volgende bronnen van zout: van boven via neerslag en beregening; zijdelings via infiltratie van oppervlaktewater en van onderen via kwel en capillaire opstijging. Bronnen kunnen ook als 'sinks' dienen, waarlangs zout uit het systeem kan verdwijnen (Stuyt et al, 2013). Door de koppeling aan het gewasgroeimodel WOFOST (Boogaard et al, 2011) wordt de ontwikkeling van het gewas online meeberekend.

3.2 Aanpak

Om inzicht te krijgen in de relatie tussen de zoutconcentratie in het oppervlaktewater en de schade aan gewassen is op systematische wijze een groot aantal rekenexperimenten uitgevoerd. Hierbij is voor de 5 onderscheiden ruimtelijke eenheden de opbrengstdepressie bepaald voor oplopende concentraties chloride in het oppervlaktewater. Hiervoor is voor klimaatperiode 1981-2010 op dagbasis de combinatie SWAP-WOFOST doorgerekend. Binnen deze periode liggen de jaren 1989 (droog jaar voor bollen) en 2003 (droog jaar voor aardappelen). De uitkomsten van de modelexperimenten zijn samengevat in tabellen, waarin de berekende schade als functie van de ruimtelijke eenheid en de concentratie chloride in het oppervlaktewater kan worden afgelezen.

3.3 Modelinvoer

De meteorologische invoer betreft dagcijfers van het KNMI van De Kooy over de periode 1971-2010. De bodemopbouw is in eerste instantie overgenomen van de BOFEK-schematisatie (Wosten et al, 2013). Voor tulpen zijn de profielen aangepast door aan te nemen dat de bovengrond (80 cm) uit grof zand (bouwsteen O5) bestaat. Dit komt overeen met de praktijk om gronden geschikt te maken voor bollenteelt door het opbrengen van zand. Op deze wijze zijn 5 type bodem-gewas profielen gedefinieerd.

BOFEK code	Positie	Bodem	Gewas
323	AP-Hoog	Grof zand	tulp
324	AP-Hoog	Grof zand	tulp
406	AP-Laag	Zand op zavel	tulp
407	Oost polder	zavel	aardappel

De eigenschappen hiervan zijn aangegeven in Tabel 3.2. In Tabel 3.3 en 3.4 is de overige informatie van de kolommen die is gehalteerd in de berekeningen die voor het genereren van de gewasschade tabellen in de Eureyeopener applicatie van de Anna Paulowna. Dit betreft randvoorwaarden die nodig zijn om de kolommen door rekenen. Deze randvoorwaarden zijn afgeleid uit de beschikbare kaartlagen.

Tabel 3.2 De 4 onderscheiden bodem-gewas combinaties die voor de studie zijn samengesteld.

BOFEK 2012	Laag nr	Horizont code	Diepte b	Diepte o	Org. stof	Org. stof_p10	Org. stof_p90	Staring bouwsteen
323	1	1Ah	0	25	1.5	0.5	3.0	B2
323	2	1Cg	25	40	0.8	0.3	2.0	O2
323	3	1Cu	40	120	0.2	0.1	2.0	O2
324	1	1Ah	0	5	4.0	0.8	7.0	B1
324	2	1Cg	5	50	0.2	0.2	1.0	O1
324	3	1Cg	50	120	0.2	0.2	1.0	O1
406	1	1Ap	0	25	2.0	1.0	4.0	B8
406	2	1Cw	25	50	0.8	0.5	2.0	O9
406	3	1Cg1	50	85	0.5	0.5	2.0	O8
406	4	1Cg2	85	105	1.0	0.5	2.0	O12
406	5	2Cu	105	120	85.0	60.0	90.0	O17
407	1	1Ap1	0	10	5.0	1.0	8.0	B9
407	2	1Ap2	10	25	3.6	1.0	5.0	B9
407	3	1Cwg	25	50	1.0	0.5	3.0	O10
407	4	2Cw	50	80	55.0	40.0	90.0	O17
407	5	3Cu	80	120	1.0	0.5	3.0	O11

Tabel 3.3 Onderrand Swap-kolommen.

BOFEK 2012	UC nr	UC Positie	Gewas	Onder- rand	Gt target	Qbot (mm/d) (pos=up w)	C_qbot (d)	H_qbot (cm tov mv)	CSEEP= CI_qbot
323	1	AP Hoog	tulp	Cauchy	IV	0	2000	-80	1000
324	2	Hoog	tulp	Cauchy	IV	0	2000	-80	1000
406	3	Laag	tulp	Cauchy	IV	0.2	2000	-40	5000
407	5	Oost	aardappel	Cauchy	V/VI	0.2	2000	-80	5000

Tabel 3.4 Zijrand Swap-kolommen.

BOFEK 2012	UC	Gewas	Syst (drain/infiltr)	Drain diepte (cm tov mv)	Sloot Peil (cm tov mv)	Y_drain (d) Drain/infiltr	Y_sloot (d) Drain/inf ilt	L_Drain (m)	L_sloot (m)
323	1	tulp	Drain+sloot	80	100	70/140	200/400	20	200
324	2	tulp	Drain+sloot	80	100	70/140	200/400	20	200
406	3	tulp	Drain+sloot	80	100	70/140	200/400	20	200
407	5	aardappel	Drain+sloot	100	130	70/NoInfiltr	200/400	20	200

De informatie die nodig is voor de simulatie van aardappelen is afkomstig uit het project Waterwijzer Landbouw (Kroes et al., 2015). Voor tulpen wordt gebruik gemaakt van Wolf et al (2010), gebaseerd op Ruiter et al (1993). Aangenomen is dat jaarlijks dezelfde gewasinvoer kan worden gebruikt.

Voor de zouthuishouding is gerekend met de toevoer van zout via beregening via bovenrand, infiltratie vanuit oppervlaktewater (via de drainage), en kwel via onderrand. Het zoutgehalte van het kwelwater is constant gehouden (zie Tabel 3.3); de concentraties van het beregeningswater en het oppervlaktewater zijn gevarieerd.

Er is gerekend voor de periode 1991-2010. Ter controle van de berekeningen is getoetst of de concentraties in het bodemvocht ook bij de vrij extreme aannames voor de zoutbelasting in overeenstemming zijn met de concentraties van het binnenkomende water (beregeningwater, kwelwater, infiltrerend oppervlaktewater). Een voorbeeld van het resultaat van deze toetsing is voor

het tulpenprofiel weergegeven in Figuur 3.2. In de bovenste grafiek is het berekende concentratieverloop van het bodemvocht weergegeven van de bovenste halve meter (de wortelzone) en op 10 cm diepte bij een zoutgehalte van het beregeningswater van 5000 mg/l. Het vochtgehalte en de concentraties van het bodemvocht op 10 cm diepte zijn in het modelconcept het meest kritisch voor het optreden van zoutschade. In de onderste grafiek wordt de verhouding weergegeven van het zoutgehalte in het bodemvocht en de concentratie van het beregeningswater.

Figuur 3.2 Berekend zoutgehalte in bodemvocht tulpen (bovenste grafiek) op 0,5 m diepte (blauwe lijn) en op 0,1 m diepte (groene lijn) bij een zoutgehalte van 5000 mg/l in het beregeningswater en de verhouding daarvan met het zoutgehalte in beregeningswater (onderste grafiek).

Uit de grafieken komt vooral naar voren dat het zoutgehalte ook in droge perioden vrijwel niet boven het zoutgehalte van het beregeningswater uitkomt. Kennelijk is in die perioden de vochtbalans zodanig dat de stijging van de concentraties door indamping wordt gecompenseerd door nalevering van het nog aanwezige relatief zoetere bodemvocht.

3.4 Resultaten scenario's SWAP-WOFOST

Met SWAP-WOFOST is op dagbasis ieder jaar in de periode 1981 – 2010 doorgerekend. Deze rekensessie is voor deze gehele jaarreeks eerst uitgevoerd zonder beregening. Daarmee wordt aldus droogteschade berekend. Vervolgens is gerekend met beregening, waarbij een chlorideconcentratie van het irrigatiewater is aangehouden van 50 mg/l. Vervolgens is dezelfde rekenperiode doorgerekend met een chlorideconcentratie van achtereenvolgens 100 mg/l, 150, 200, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 2000, 3000, 4000 en 5000 mg/l. Uit de berekeningenresultaten is de opbrengstderving voor 1989 en 2003 direct in de Eureyeopener opgenomen. Voor de langjarige periode ('klimaat') is het gemiddelde berekend. De uitkomsten van de SWAP-WOFOST berekeningen zijn weergegeven in Figuur 3.2 (1989), 3.3 (2003) en 3.4 (1981-2010).

Figuur 3.2 Opbrengstderving 1989 als functie van het chloridegehalten van het beregeningswater.

Figuur 3.3 Opbrengstderving 2003 als functie van het chloridegehalten van het beregeningswater.

Figuur 3.4 Opbrengstderving 1981-2010 als functie van het chloridegehalten van het beregeningswater.

De resultaten laten zien dat voor aardappelen nauwelijks schade optreedt zolang de chloride-concentratie in het oppervlaktewater lager is dan 1000 mg/l. Concentraties boven de 1000 mg/l zijn sowieso ongeschikt in verband met schade aan het blad. Voor tulpen ontstaat schade vanaf ca 500 mg/l. Kennelijk brengt het klimaat en de vochthuishouding van de bodem met zich mee dat de zoutgehalten in de wortelzone ook in droge jaren niet snel hoger worden dan het water waarmee wordt beregend. In een hele droge zomer als 1976 kan door indamping het bodemvocht in de wortelzone hoger worden dan het gehalte waarmee wordt beregend.

Verder blijkt dat 1989 vooral een droog jaar is geweest voor de tulpen (bloembollenteelt), terwijl 2003 vooral voor de aardappelteelt een droog jaar is geweest. Dit komt omdat de droogte in 1989 vooral in het voorjaar was, terwijl in 2003 vooral de droogte aanhield vanaf juli, toen de bloembollen dan al geoogst zijn.

Naast deze berekeningen is een gevoeligheidsanalyse voor de randvoorwaarden van de zoutgehalten uitgevoerd. Hierbij zijn de volgende varianten voor de randvoorwaarden doorgerekend:

variante Variant	rekenperiode	Cl-gehalte		
		Kwel (onderrand)	infiltratie (zijrand) via drains	Berekening (bovenrand)
0. referentie	1971-2010	1000-5000	1000...5000	1000...5000
1. referentie	2003	1000-5000	1000...5000	1000...5000
3. strengOW	2003	1000-5000	0	1000...5000
4. geenKwel	2003	0	1000...5000	1000...5000

Uit deze gevoeligheidsanalyse is naar voren gekomen dat de berekende zoutschades voornamelijk worden bepaald door de gehalten van het beregeningswater. De zoute kwel en zout slootwater dat via de drainage in het bodemprofiel kan dringen hebben niet zoveel invloed op de zoutgehalten in de wortelzone en zo ook niet op de berekende zoutschade. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 3.4 waarin voor het bodemprofiel met aardappels de berekende zoutgehalten in het dwarsprofiel worden weergegeven. Dit profiel betreft de variant waar een concentratie van het kwelwater is aangehouden van 5000 mg/l Cl. Het neerslagoverschot drukt de concentraties in het bodemprofiel naar beneden en voorkomt dat de zoute kwel de wortelzone bereikt.

Figuur 3.5 Berekening zoutgehalten bodemprofiel aardappels 2003.

4 Watervraag module

4.1 Kernpunten watervraagmodule

De kern van Eurekaopener is een hydrologisch rekenschema waarin per deelgebied een water- en zoutbalans wordt berekend voor het zomerhalfjaar van 1989 (droog jaar voor bollen), 2003 (droog jaar voor aardappelen) en het langjarige zomerhalfjaargemiddelde over de periode 1981-2010. Met output van het landelijke model NHI (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium) wordt op basis van neerslag, verdamping, drainage, kwel/wegzijging, infiltratie vanuit waterlopen en berekening uit oppervlaktewater per deelgebied berekend hoeveel inlaatwater in een zomerhalfjaar nodig is om het open water in de polders op peil te houden, hoeveel extra doorspoelwater nodig is om het chloridegehalte in het open water in de polders tot een bepaald streefpeil te verlagen. De zoutgehalten van het grondwater worden ook ontleend aan het NHI. De concentraties van het inlaatwater en de beoogde streefwaarden worden per deelgebied ingevoerd. Deze opzet wordt geïllustreerd in Figuur 4.1.

Figuur 4.1 Schematische weergave van de wijze waarop de water- en zoutbalans wordt berekend.

De drainage flux en concentratie die van het NHI wordt ontleend, is de resultante van het neerslagoverschot en de kwel naar het bodemprofiel die via drainagemiddelen wordt afgevoerd. Tijdens de calibratie van het model zijn de chloridegehalten van het drainagewater iets bijgesteld; voor Anna Paulowna hoog 450 mg/l, Anna Paulowna laag 750 mg/l en Oostpolder 900 mg/l. Deze gehalten sluiten goed aan op hetgeen HHNK heeft aangehouden het opstellen van zoutbalansen van de polders.

Het NHI berekent apart daarvan ook de kwelfluxen die via zoute wellen in het oppervlaktewater terecht komen. Deze komen (volgens het NHI) niet in het modelgebied voor.

De opbrengstdepressies (schade) van landbouwgewassen vormen de basis voor de berekening van de variabele kosten/baten. Dit zijn opbrengstdepressie door droogte- en zoutschade. De droogteschade wordt berekend met respectievelijk SWAP. Er zijn op basis van een bodem-, gewas- en hydrologische kenmerken 5 rekenplots gekozen om met SWAP scenario's voor berekening (met zoet en brak tot zout water) door te rekenen. Met als invoer de klimaatreeks van 1981-2010 zijn hiermee de watervraag voor berekening en subinfiltratie berekend. De droogteschade wordt dan berekend als het verschil tussen de actuele en potentiële verdamping gedeeld door de potentiële verdamping.

De berekening van de zoutschade in de landbouw is als volgt. Met SWAP is voor de genoemde profielen de klimaatreeks doorgerekend met een zoutgehalte van het beregeningswater van respectievelijk 0, 50, 100, 150, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 2000, 3000, 4000 en 5000 mg/l. Als SWAP hiermee een zoutgehalte in de wortelzone berekent dat hoger is dan de drempelwaarde voor zoutschade van het gewas, wordt een verminderde verdamping berekend die als maat gehanteerd wordt voor beperking van de gewasgroei. De zoutschade is gedefinieerd als de afname van de verdamping ten opzichte van de verdamping bij een zoutconcentratie van 0 mg/l. De SWAP-rekenresultaten zijn als tabellen opgenomen in Eurekaopener.

De fysieke schades (verandering van gewasopbrengsten) zijn vertaald naar euro's op basis van bij het LEI beschikbare gegevens over saldi voor bollen en aardappelen.

4.2 Rekenmethode waterbalans en zoutbalans

Het opstellen van de water- en zoutbalans van een (deel)gebied is het logische startpunt voor de rekenprocedure. De water- en zoutbalanstermen worden grotendeels ontleend uit NHI 3.0 resultaten. Deze termen (neerslag, verdamping, drainage/kwel, irrigatie) zijn vanuit het NHI 3.0 per LSW-eenheid bekend, en worden voor het opstellen van de water- en zoutbalans voor alle LSW-eenheden gebruikt. Deze termen vormen invoer voor een water- en zoutbalansberekening waarin gestreefd wordt naar een door de gebruiker opgegeven gemiddelde chlorideconcentratie in het oppervlaktewatersysteem (= streefconcentratie) en waarbij de hoeveelheid ingelaten water als sluitpost wordt gebruikt. Hieronder wordt de berekening van de water- en zoutbalans nader uiteengezet.

Figuur 4.1 geeft een schematisch overzicht van de wijze waarop de water- en chloridebalans wordt berekend. De termen neerslag, verdamping, drainage, kwel en beregning uit oppervlaktewater worden ontleend aan het NHI. Daarmee wordt de inlaat berekend die nodig is voor handhaving van het waterpeil (peilbeheer). Vervolgens wordt op basis van de chlorideconcentraties van de genoemde termen een chlorideconcentratie van het regionale water berekend. Als deze zouter is dan de opgelegde streefwaarde, wordt extra inlaat berekend voor doorspoelen, zodanig dat het gemiddelde chloridegehalte tot de streefwaarde gedaald is. Uit de waterbalans volgt dan de totale inlaat (peilbeheer + doorspoelen) en de totale afvoer.

Als referentie wordt een theoretische inlaat berekend die nodig is voor peilhandhaving: In formule: inlaat, nodig voor peilhandhaving = verdamping + subinfiltratie + beregning – neerslag op open water – drainage, ofwel:

$$Q_{\text{inlaat voor peilbeheer}} = Q_{\text{verdamping}} + Q_{\text{infiltratie}} + Q_{\text{beregning}} - Q_{\text{neerslag}} - Q_{\text{drainage}} \quad 4-1$$

Bergingsveranderingen worden verwaarloosd. Met uit het NHI verkregen zoutconcentraties van het drainagewater en kwel wordt de resulterende zoutconcentratie van het polderwater berekend (onder de aanname van ideale menging):

$$Cl_{\text{eigen}} = \frac{Cl_{\text{neerslag}} \times Q_{\text{neerslag}} + Cl_{\text{drainage}} \times Q_{\text{drainage}} + Cl_{\text{inlaat}} \times Q_{\text{inlaat voor peilbeheer}}}{Q_{\text{neerslag}} + Q_{\text{drainage}} + Q_{\text{inlaat}} - Q_{\text{verdamping}}} \quad 4-2$$

Met Cl_{eigen} wordt aldus het zoutgehalte verstaan van het water dat het gebied uitgaat.

Vervolgens wordt hieruit de doorspoelbehoefte berekend, en wel zo, dat de zoutconcentratie van het polderwater met zoeter inlaatwater wordt verdund tot de streefconcentratie in deze polder. In formule:

$$Cl_{eigen} = \frac{Cl_{neerslag} \times Q_{neerslag} + Cl_{drainage} \times Q_{drainage} + Cl_{inlaat} \times Q_{inlaat \text{ voor peilbeheer}}}{Q_{neerslag} + Q_{drainage} + Q_{inlaat} - Q_{verdamping}} \quad 4-2$$

$$Cl_{mengwater} = \frac{Q_{doorspoelen} \times Cl_{doorspoelen} + Q_{eigen} \times Cl_{eigen}}{Q_{doorspoelen} + Q_{eigen}} = \leq Cl_{streef} \quad 4-3$$

Uitwerking voor de doorspoelbehoefte levert dan:

$$Q_{doorspoelen} = Q_{eigen} \times \frac{Cl_{eigen} - Cl_{streef}}{Cl_{streef} - Cl_{doorspoelen}} \quad 4-4$$

met:

$Q_{doorspoelen}$ = doorspoelbehoefte (m^3)

$Cl_{doorspoelen}$ = chlorideconcentratie inlaatwater voor doorspoelen (mg/l)

Q_{eigen} = 'eigen' polderafvoer = neerslag – verdamping_{open water} + drainage + kwel + inlaat_{peilhandhaving} (m^3)

Cl_{eigen} = chlorideconcentratie eigen polderafvoer (mg/l)

$Cl_{mengwater}$ = chlorideconcentratie polderwater na menging met doorspoelwater (mg/l)

Cl_{streef} = streefconcentratie chloride in de polder ('Serviceniveau'¹) (mg/l)

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

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

4.3 Opzet module Anna Paulownapolders

Voor een master studie is in 2014 een Eurekaopener model opgezet voor de Anna Paulowna polder (Xiong, 2014). Het oppervlaktewater systeem is in deze studie geschematiseerd in 3 water- en zout balans eenheden; Anna Paulowna polder hoge deel, Anna Paulowna lage deel, en Oostpolder. Deze indeling is ook in de onderhavige opzet gehanteerd. De gewasschade module is nieuw opgezet, met een andere ruimtelijke toekenning van het landgebruik op basis van een recente BRP kaart en een ander bodemprofiel die meer rekening houdt met de zandophogingen van bloembollenpercelen op kleibodems. In het navolgende wordt de modelopzet en uitgangspunten nader toegelicht.

Ten behoeve van de modellering met Eurekaopener is het studiegebied sterk geschematiseerd. Dit geldt voor het oppervlaktewatersysteem, het grondwater, de bodem, het landgebruik, het beheer. Om te beginnen is het gebied in 3 hoofdeenheden verdeeld: Anna-Paulownapolder Hoog, Anna-Paulownapolder Laag en Oostpolder. Vervolgens is bepaald wat de dominante landgebruiksvormen

¹ De streefconcentratie is in een voorlopende studie (Stuyt et al., 2011) aangeduid als het 'Serviceniveau' en is in de praktijk gericht op het meest zoutgevoelige landbouwgewas dat in de polder (in een significant areaal) voorkomt.

zijn. Voor AP-Hoog zijn dat bollen, voor Oostpolder Aardappelen en voor AP-Laat zowel bollen als aardappelen. De dominante bodems verlopen van West naar Oost van zand naar klei.

De wijze waarop de inlaat en routing van het oppervlaktewater in de applicatie is verdisconteerd is weergegeven in Figuur 4.2. Per deelgebied is een toekenning gedaan van de hydrologische kenmerken en randvoorwaarden op basis van de beschikbare informatie uit het NHI. Deze zijn weergegeven in Tabel 3.2-3.4 (paragraaf 3.3). Met de informatie uit de tabellen zijn de SWAP-modellen gebouwd.

Figuur 4.2 Schematisering van het modelgebied.

Analoog aan de voorafgaande afstudeer studie van Lu Xiong (2014), volgt het oppervlaktewatersysteem de indeling in de drie hoofdeenheden (AP-Hoog, AP-Laat en Oostpolder). Overtollig water in AP-Hoog wordt deels via gemaal Balgdijk uitgemalen, deels stroomt het onder vrij verval naar AP-Laat. De afvoer van AP-Laat wordt geregeld via het gemaal Wijdenes Spaans. Het westelijk en oostelijk deel van AP-Laat zijn via onderleiders onder het Oude Veer met elkaar verbonden. De Oostpolder wordt op peil gehouden door het gemaal Oosthoek.

Waterinlaat is op 3 plaatsen mogelijk: AP-Hoog heeft aan de westkant twee inlaats, hoofdinlaat Westeinde en een verwaarloosbaar kleine inlaat bij Kooy Hoek, waar vanuit de Schermerboezem de polder wordt voorzien van water. Van hieruit wordt het water via de Zandvaart, Molenvaart en Middelvlier verdeeld over de polder. Het gebied ten oosten van de Oude Veer wordt van water voorzien vanuit de Schermerboezem bij Oudesluis.

De inlaat van water is bedoeld om het oppervlaktewater op peil te houden en om het systeem door te spoelen. De chlorideconcentraties in het oppervlaktewater (zie Figuur 4.4) lopen van west naar oost op van minder dan 300 mg/l in de bollengebieden tot 1000 mg/l in de akkerbouwgebieden. In kwelsslotten in het oostelijk deel worden ook hogere concentraties gemeten.

Figuur 4.4 Chlorideconcentraties in het oppervlaktewater (Lu Xiong, 2014).

Voor de bollenteelt stelt strenge eisen aan de kwaliteit van het oppervlaktewater. In de praktijk worden bollen uitgebreid berekend vanuit het oppervlaktewater. Het waterschap streeft er dan ook naar om de chlorideconcentraties in het oppervlaktewater onder de 300 mg/l te houden.

Via het beregeningswater en kwel komt chloride in de wortelzone. De chlorideconcentratie in de wortelzone is bepalend voor de berekening van de zoutschade aan het gewas. In Figuur 3.2 is weergegeven hoe de relatie is tussen de opbrengst en de zoutconcentratie in de wortelzone voor bollen.

De opbrengstdepressie als gevolg van zout in de wortelzone wordt in het model vertaald naar bedragen. Dit gebeurt door bedragen toe te kennen aan de opbrengst per hectare. Voor aardappelen wordt gerekend met een maximale opbrengst van 5 kEUR per hectare en voor bollen 26 kEUR.

In het model zijn de onderdelen: watersysteem, de percelen en de landbouwschade aan elkaar gekoppeld, zowel voor water als chloride. Hierdoor is het mogelijk om de effecten van waterinlaat te berekenen op de opbrengst. Om het mogelijk te maken de optimale waterinlaathoeveelheid te berekenen behorend bij een streefconcentratie in het oppervlaktewater is aan het model een optimalisatieroutine toegevoegd. Deze houdt rekening met de hoeveelheden aanvoerwater en chlorideconcentraties van het aanvoerwater van de waterinlaten en minimaliseert de totale aanvoerhoeveelheid gegeven doelconcentraties in de verschillende deelgebieden.

4.4 Resultaten modellering referentie

Gegeven de uitgangspunten, zijn er nog veel vrijheidsgraden die bepalend zijn voor de hoeveelheid doorspoelwater dat wordt berekend. Met name geldt dit voor de chloride concentratie van het drainage-kwel water en voor de chlorideconcentratie die in de polders wordt nagestreefd met het doorspoelregiem. Daarom is het belangrijk de berekende inlaat te valideren. De grote inlaatwerken 1 en 3 zijn niet uitgerust met meetapparatuur om de debieten continue te registreren. Dit geldt ook voor het water dat vanuit Anna Paulowna Hoog naar Anna Paulowna Laag wordt doorgevoerd. Door HHNK zijn voor de afvoergebieden waterbalansen opgesteld, waarmee zij voor 2009 en 2010 redelijk betrouwbare schattingen van de hoeveelheid inlaatwater en doorvoer van het hoge naar het lage deel

van de Anna Paulowna polder konden afleiden. Evenzo is door HHNK een schatting gegeven van de gemiddelde inlaat over de periode 2000 – 2010. Deze schattingen zijn weergegeven in Tabel 4.1.

Door HHNK worden sinds 2007 ook de debieten geregistreerd die door de gemalen balgdijk en Wijdeness worden uitgemaal. Op basis van deze metingen zijn door HHNK de uitgemaal debieten aangegeven voor 2009 en 2010 en het gemiddelde van 2007 – 2010. Deze zijn ook opgenomen in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 *Debieten inlaatwater, doorvoer water van Anna Paulowna Hoog naar laag en afvoer via de gemalen zoals door HHNK afgeleid uit metingen en waterbalansen.*

Schattingen inlaatwater (april – oktober)	Inlaat 1 Mm ³	Inlaat 3 Mm ³	doorvoer Mm ³ hoog → laag	Afvoer Mm ³ Balgdijk	Afvoer Mm ³ Wijdenes
Gemiddeld 2000 - 2010	6.2	7.9	3.20	2.7	9.7
2009	5.8	5.5	1.52	1.2	7.1
2010	6.4	5.5	3.05	4.2	9.7

Het model is voor 2009 en 2010 getoetst op basis van de in Tabel 6.1 aangegeven debieten. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd (bron: Lu Xiong 2014):

2009:

- Inlaatconcentratie inlaat 1 231 mg/l, inlaat 3 256 mg/l.
- Streefconcentratie voor het doorspoelregiem: hoge deel 270 mg/l, lage deel 340 mg/l
- Gemiddelde concentratie uittredend kwel/drainwater: hoge deel 480 mg/l, lage deel 800 mg/l.
- Aangevoerd debiet zomerhalfjaar inlaat 1: 5,8 Mm³, inlaat 3: 5,5 Mm³.

2010

- Inlaatconcentratie inlaat 1 227 mg/l, inlaat 3 268 mg/l.
- Streefconcentratie voor het doorspoelregiem: hoge deel 300 mg/l, lage deel 400 mg/l
- Gemiddelde concentratie uittredend kwel/drainwater: hoge deel 480 mg/l, lage deel 800 mg/l.
- debiet zomerhalfjaar inlaat 1: 6,4 Mm³, inlaat 3: 5,5 Mm³.

Met deze uitgangspunten worden debieten berekend die worden uitgemaal bij Balgdijk en Wijdenes en het debiet dat vanuit het hoge deel (Anna Paulowna hoog) wordt doorgevoerd naar het lage deel. Het resultaat van de toetsing is weergegeven in Figuur 4.5.

Uit de figuur blijkt dat met de genoemde uitgangspunten de berekende afvoeren voor beide jaren goed overeenkomen met hetgeen door HHNK is afgeleid uit de metingen en waterbalansen. Voor 2010 komt ook de berekende doorvoer goed overeen, voor 2009 geeft het model een overschatting.

Wanneer met dezelfde uitgangspunten voor inlaatconcentratie en streefconcentratie het optimale (minimale) inlaatdebiet wordt berekend, wordt voor 2010 een totale inlaat berekend van 9,4 Mm³ en een totale afvoer van 11.3 Mm³. Dit betekent dat circa 20 % minder ingelaten en uitgelaten kan worden. Deze reductie komt vooral omdat het optimaler is om bij inlaat 1 meer water in te laten.

Figuur 4.5 Gemeten en berekende afvoer zomerhalfjaar 2009 en 2010.

Voor de validatie moet worden bedacht, dat de hoeveelheid inlaatwater voornamelijk wordt bepaald door de waterbehoefte voor het doorspoelen en in veel mindere mate voor het peilbeheer. Daarom worden de rekenresultaten sterk beïnvloedt door de aannames over de chlorideconcentraties. De onzekerheden over de inlaatconcentraties zijn minder groot dan de onzekerheden over de streefconcentraties en de concentraties van het uittredende drainage/kwel water. De modeluitkomsten voor de hoeveelheid inlaatwater zijn met name gevoelig voor veranderingen van de streefconcentratie, omdat de verschillen tussen de concentraties die wordt ingelaten relatief vrij klein zijn.

Bij de interpretatie van de modelresultaten moet verder worden bedacht dat voor het doorspoelen uitgegaan wordt van ideale menging. In de praktijk zal het zoete inlaatwater niet zo ideaal (efficiënt) mengen met alle lokale oppervlaktewateren, bijvoorbeeld als er veel kopsloten in het gebied voorkomen. Om dit te ondervangen kan net als bij de toepassing voor de zuidwestelijke delta (Schipper et al, 2014) een factor voor de efficiëntie van het doorspoelen worden ingebouwd.

5 Modelscenario's

5.1 Huidig doorspoelregiem

Voor het huidige doorspoelregiem is met het model berekend wat de hoeveelheid waterinlaat is die nodig is voor het op peil houden van de watergangen, beregening en het doorspoelen om de zoutconcentraties in het polderwater beneden de streefwaarde te houden. Voor het inlaatwater is steeds uitgegaan van 227 mg/l chloride bij inlaat 1 en van 286 mg/l chloride bij inlaat 3. Voor de streefconcentratie is voor Anna Paulowna hoog 270 mg/l aangehouden, voor Anna Paulowna laag 330 mg/l. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor het droge 1989 (vooral droog voorjaar), 2003 (vooral droog najaar) en klimaatgemiddeld (alle jaren vanaf 1981 t/m 2010). Door gebruik te maken van de solver in Excel, is steeds een optimale verdeling tussen de inlaatwerken berekend. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Figuur 5.1.

Figuur 5.1 Berekende hoeveelheid inlaatwater onder het huidige doorspoelregiem, onderverdeeld naar het water dat nodig is voor peilhandhaving, onttrekking voor beregening en het doorspoelen.

Zoals al bij de toetsing in hoofdstuk 4 naar voren kwam, vormt het doorspoelen de grootste term van de benodigde inlaat. Omdat gerekend wordt voor het hele zomerhalfjaar, is alleen in 2003 water nodig voor het op peil houden van de watergangen. Opvallend is dat juist voor het klimaat (het rekenkundig gemiddelde van alle 30 jaren) de meeste inlaat wordt berekend, nodig is. Dit komt doordat er in natte jaren weliswaar minder water voor het peilbeheer nodig is, maar dat dan de drainage- en kwelfluxen groter zijn en daarmee de zoutbelasting van het oppervlaktewater die hiermee gepaard gaat toeneemt. Hierbij moet wel worden bedacht dat in niet droge jaren de agrariërs in principe geen behoefte hebben aan lage chloridegehalte van het polderwater omdat ze dan niet beregenen. Ten opzichte van die praktijk overschat het model de doorspoelbehoefte in de niet-droge jaren.

5.2 Optimalisatie van de streefconcentratie

De landbouw in de Anna Paulowna polder is gebaat bij zoet beregeningswater. Voor de berekening wordt oppervlaktewater uit de nabijgelegen sloten gebruikt. Grondwater als bron is vanwege de hoge zoutgehalten minder geschikt.

In droge perioden lopen de zoutgehalten in de poldersloten flink op door de verdamping en toevoer van brak tot zout grondwater. Om zoutschade te vermijden wordt dan zoet water ingelaten. Hierbij wordt in principe gestuurd op een zodanige verdunning met inlaatwater, dat de zoutgehalten voor de landbouw acceptabel zijn. Het model kan helpen om een afweging te maken tussen de inspanning (en kosten) om te streven naar lage zoutgehalten in het polderwater waardoor veel water moet worden ingelaten, en de baten die dit oplevert voor de landbouw. Ofwel, kan een optimum worden gevonden tussen de streefconcentratie voor het inlaatregiem en de afname van de zoutschade?

Om hier inzicht in te verkrijgen, zijn met de Eurekaopener berekeningen uitgevoerd met oplopende streefconcentraties. Bij ieder streefconcentratie berekent het model de benodigde inlaat (optimaal verdeeld over inlaat 1 en inlaat 3), de uitlaat, en de bijbehorende zoutschade. Bij deze berekeningen is uitgegaan dat de streefconcentraties voor beide gebieden (Anna Paulowna hoog en laag) gelijk zijn.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor 1989, 2003 en een langjarige periode ('klimaatgemiddeld'). Voor inlaat 1 is een inlaatconcentratie aangehouden van 227 mg/l, voor inlaat 3 van 285 mg/l. Ook de Oostpolder is in de berekeningen meegenomen, maar voor deze polder wordt nauwelijks zoutschade berekend.

De resultaten van de berekeningen zijn voor weergegeven in Figuur 5.2 – 5.4.

Figuur 5.2 Met de Eurekaopener berekende inlaat en zoutschade 1989 bij oplopende gehalten van de streefconcentratie van chloride in het polderwater.

Figuur 5.3 Met de Eurekaopener berekende inlaat en zoutschade 2003 bij oplopende gehalten van de streefconcentratie van chloride in het polderwater.

Figuur 5.4 Relatie tussen de berekende inlaat en zoutschade 1989.

Uit deze berekeningen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De streefconcentratie van het polderwater heeft een sterke invloed op de hoeveelheid inlaatwater. Uiteraard neemt de inlaat toe als gestreefd wordt naar een lager zoutgehalte, maar de berekeningen laten ook zien dat de relatie niet lineair is. Dit komt enerzijds omdat wanneer de streefconcentratie daalt tot nabij de inlaatconcentratie, het doorspoelen weinig efficiënt wordt en er aldus onevenredig veel moet worden ingelaten. Anderzijds daalt de inlaat bij hoge streefconcentraties niet beneden een drempelwaarde die bepaald wordt door de inlaatbehoefte die nodig is voor het peilbeheer en de inlaat die nodig is voor beregening.
- Hoewel 1989 en 2003 bezien over het gehele zomerhalfjaar een redelijk vergelijkbaar neerslag tekort hebben, zijn ze zeer verschillende qua droogte- en zoutschade. Dit komt omdat de droge periode in 1989 zich voornamelijk voordeed in de groeiperiode van de bloembollen (april-begin juli), terwijl de droge periode in 2003 zich juist voordeed in de periode juni-september. Voor bloembollenteelt was 2003 daarom helemaal niet zo'n droog jaar. Voor aardappels wel omdat die veel later worden geoogst. De zoutschade is in 2003 veel minder groot dan in 1989 omdat de zoutschade van aardappels lang niet zo zwaar mee telt als die voor bloembollen omdat ze a) minder zoutgevoelig zijn en b) minder kapitaal intensieve teelt is (lager financieel saldo).

- De optimale streefconcentratie kan niet zondermeer uit de figuur worden afgeleid, omdat de inlaat niet net als zoutshade in euro's is uitgedrukt. Als echter gekeken wordt naar de relatie tussen de inlaat en zoutshade (Figuur 5.4), lijkt het vrij logisch om te sturen op een zoutgehalte rond de 300 mg/l als ernaar wordt gestreefd om de zoutshade sterk te beperken en tegelijkertijd de inlaathoeveelheden niet onevenredig hoog te laten oplopen.

5.3 Sturen op lagere inlaatconcentraties

Het hoogheemraadschap heeft invloed op de zoutgehalten in de boezem bij de inlaatpunten van de Anna Paulownapolder. Bijvoorbeeld door maatregelen om de hoeveelheid schutwater vanuit de sluizen bij Den Helder te beperken, door aanpassing van de diepte en/of locatie van de inlaatwerken, en door aanpassingen van het doorspoelregiem in het bovenstroomse (zuidelijke) inlaatgebied.

Met de Eurekaopener zijn berekeningen uitgevoerd waarbij de inlaatconcentraties steeds zijn gevarieerd, bij een gelijkblijvende streefconcentratie. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 5.5.

Figuur 5.5 Relatie tussen de zoutshade en de concentratie van het inlaatwater.

Uit de figuur blijkt dat de zoutshade in het hoge deel groter is dan in het lage deel van de polder. In het lage deel van de polder neemt de zoutshade vrij gelijkmatig toe van 200 tot ruim 400 k€. In het hoge deel, waar vrijwel uitsluitend bloembollen worden geteeld, neemt de schade vanaf een inlaatconcentratie van 400 mg/l wat sterker toe en vanaf circa 800 mg/l neemt deze sterk toe.

6 Conclusies & aanbevelingen

6.1 Conclusies huidige modelopzet

Het Eūreyeopener model dat voor de Anna-Paulownapolders is opgezet geeft op een vrij eenvoudige wijze inzicht in het doorspoelregiem en de opbrengstderving van gewassen als het zoutgehalte van het polderwater verandert. Het model is eenvoudig opgezet door per onderscheiden eenheid (Anna Paulowna-hoog, Anna Paulowna-laag, Oostpolder) uit te gaan van volledige menging, een sterk geschematiseerd landsysteem (SWAP-WOFOST rekenprofielen voor enkele bodem-gewas combinaties) en door de water- en zoutbalans op te stellen per zomerhalfjaar. Bij de interpretatie van resultaten moet hiermee rekening worden gehouden.

Ondanks dat het model op deze wijze eenvoudig is opgezet, zijn de berekeningen nog vrij complex, omdat er zowel in Anna Paulowna-hoog als Anna Paulowna-laag water wordt ingelaten, de concentraties daarvan niet helemaal hetzelfde zijn en bovendien overtollig water van het hoge naar het lage deel van de polder wordt doorgevoerd. Deze inlaat en doorvoer is in de modelschematisatie verdisconteerd.

Omdat er 2 vrijheidsgraden zijn (2 inlaten) is een optimalisatie routine in het model ingebouwd. Deze routine berekend de minimale inlaat, gegeven de zoutconcentraties van de beide inlaten. Hierbij kan ook flexibel rekening worden gehouden met een begrenzing van de maximale hoeveelheid (capaciteit) die per inlaatpunt kan worden ingelaten.

Belangrijke uitgangspunten van het model die sterk bepalend zijn voor de berekende inlaat zijn:

- a. de concentratie en fluxen van het kwelwater,
- b. de concentraties van het inlaatwater,
- c. de streefconcentratie (het zoutgehalte waarop de inlaat voor het doorspoelen wordt gestuurd).

Belangrijke uitgangspunten van het model die sterk bepalend zijn voor de gewasschade zijn:

- d. de zoutschadefuncties van de zoutgevoelige gewassen (de zoutschade als functie van het chloridegehaltes van het water in de wortelzone,
- e. de intensiteit van beregening (de beregeningspraktijk).

Met de informatie over de zoutgehaltes van het kwelwater en de concentraties nabij de gemalen, berekend het model een uitlaat en doorvoer die goed aansluit op de praktijk. Het rekenen met de Eūreyeopener heeft de volgende inzichten opgeleverd:

- In de huidige situatie wordt z'n 11 tot 14 miljoen m³ water in de zomer ingelaten (200 – 265 mm). Het meeste hiervan wordt ingelaten om de zoutconcentraties van het polderwater laag te houden. In droge jaren is niet veel minder doorspoelwater nodig, omdat in droge zomers ook de kwelflux afneemt en daarmee de zoutbelasting van het polderwater.
- 1989 en 2003 hebben over het zomerhalfjaar gerekend een vergelijkbaar neerslagtekort, maar de droogte in 1989 deed zich voornamelijk voor in het voorjaar, terwijl de droogte van 2003 zich juist sterk in de maanden juli-augustus optrad. Daardoor geeft 1989 voor tulpen relatief veel opbrengstderving en 2003 veel minder, omdat tulpen al in juli worden geoogst. Voor aardappels is juist 2003 een moeilijk jaar omdat die veel later in seizoen worden geoogst.
- Het huidige doorspoelregiem lijkt een vrij logisch evenwicht te geven tussen de inlaathoeveelheden en beperking van de zoutschade. Als de zoutschade conform de gewasschademodule pas optreedt bij chloridegehaltes van het polderwater van zo'n 500 mg/l, kan in principe wel volstaan worden met minder inlaatwater. Ook als daarbij het inlaatregiem wordt geoptimaliseerd door rekening te houden met de verschillende zoutconcentraties op beide inlaatpunten. Ook al zijn deze verschillen in zoutconcentratie niet groot, geeft het model voor 2010 een minimale (geoptimaliseerde) inlaat die 20 % lager is dan wanneer zonder optimalisatie wordt gerekend.

6.2 Aanbevelingen voor uitrol

In principe kan de €ureyeopener opgezet worden voor het gehele beheersgebied van HHNK, zoals dat ook is gedaan voor het beheersgebied van Rijnland en het gebied van de zuidwestelijke delta. Vanuit de ervaring en resultaten van het model zoals opgezet voor Anna Paulownapolder, worden de volgende aanbevelingen gedaan voor het opzetten van de €ureyeopener voor HHNK.

De gedane ruimtelijke indeling in polders sluit vrij goed aan op de beschikbare informatie (kwel, zoutgehaltes, water- en stofbalansen) en levert bruikbare inzichten voor het doorspoelregiem. Bij het uitrollen van het model voor een groot gebied verdient het de aanbeveling om het model niet voor het gehele beheersgebied op te zetten, maar een 2- of 3-deling aan te houden die is afgestemd op de voorzieningsgebieden van de grote inlaatwerken en boezems. Voor het opzetten van ieder model kan dan door HHNK een indeling in watereenheden worden aangegeven, die rekening houdt met de aan- en afvoer en de belangrijke aftakkingen van de boezen.

Per watereenheid kan op basis van de Basis Registratie Percelen kaart het dominante landgebruik worden bepaald. Voor de combinaties van grondgebonden gewassen en bodemtypen kunnen dan de rekenplots voor SWAP-WOFOST worden opgezet. De randvoorwaarden voor drainage, kwel en bijbehorende zoutconcentraties kunnen worden ontleend aan ofwel het NHI of het zoet-zout grondwatermodel van HHNK.

Voor de temporele resolutie ligt het voor de hand om zoals ook in de huidige opzet de gewasschade op dagbasis te berekenen. Voor de watervraag module kan het meerwaarde bieden om in plaats van zomerhalfjaar op maandbasis de balans en daarbij horende waterinlaat te berekenen. Deze meerwaarde is niet op voorhand aan te geven, maar het verdient de aanbeveling dit in ieder geval uit te voeren. Als blijkt dat een model op zomerhalfjaar basis ook bevredigende resultaten en inzichten biedt, kan hierop worden teruggegrepen. Een kleinere tijdstap dan maandbasis ligt gelet op het inlaatregiem niet voor de hand. Als de inlaat op maandbasis wordt gerekend, verdient het de aanbeveling om de gewasschade module berekeningen zo uit te voeren, dat output wordt genereerd waarbij de concentraties van het beregeningswater niet het gehele zomerhalfjaar constant worden gehouden. Want als bijvoorbeeld de concentraties pas in juni sterk oploopt, is het voor een teelt als bloembollen niet representatief om de zoutschade af te leiden uit een SWAP-WOFOST berekening waarbij het hoge zoutgehalte voor het gehele zomerhalfjaar constant wordt gehouden.

Voor de pilot is gerekend met een gegeven concentratie van het inlaatwater. Het ligt voor de hand om bij de uitrol ook deelmodellen voor de boezem te maken, net zoals het model dat voor Rijnland is opgezet. Hierbij wordt per boezemsegment het zoutgehalte berekend als functie van de inlaat van het bovenstroomse boezemsegment (als eerste segment het IJsselmeer) en de uitmaal van de polders die op het boezemsegment zijn aangesloten.

Zoals aangegeven, zijn de volgende uitgangspunten sterk bepalend voor het rekenresultaat:

- a. de concentratie en fluxen van het kwelwater,
- b. de concentraties van het inlaatwater,
- c. de streefconcentratie (het zoutgehalte waarop de inlaat voor het doorspoelen wordt gestuurd),
- d. de zoutschadefuncties van de zoutgevoelige gewassen (de zoutschade als functie van het chloridegehaltes van het water in de wortelzone),
- e. de intensiteit van beregening (de beregeningspraktijk).

Aanbevolen wordt om stapsgewijs samen met HHNK hiervoor adequate informatie te verzamelen.

De opzet van het model zal zodanig zijn dat op directe wijze concentraties van het inlaatwater en/of de streefconcentraties instantaan kunnen worden gewijzigd.

Belangrijke keuze is of uitgegaan kan worden van het NHI. Dit vergemakkelijkt de modelopzet en er kan dat goed en eenvoudig gebruik worden gemaakt van nieuwe NHI-berekeningen (klimaatscenario's, scenario's voor ander peilbeheer van het IJsselmeer, etc).

Bij de opzet van de gewasschade berekeningen is het belangrijk om in een vroeg stadium te kunnen toetsen of rekenresultaten van SWAP-WOFOST profielen aansluiten bij de beregeningspraktijk. In de onderhavige pilot werd bijvoorbeeld in de eerste opzet helemaal geen berekening in de bloembollenteelt percelen berekend, terwijl bij HHNK bekend was dat zomers de bloembollenpercelen veelvuldig worden beregend. Daarop is het criterium in het model voor wel/niet beregenen (het kritische vochtgehalte in de wortelzone) binnen een reële bandbreedte zodanig bijgesteld dat de berekende beregeningsgiften wel aansluiten op de praktijk.

Voor de berekening van de zoutschade wordt aanbevolen om te werken met een goed gedocumenteerde set schadefuncties. Als met voortschrijdend inzicht nieuwe functies bekend zijn, kunnen de SWAP-WOFOST berekeningen opnieuw worden uitgevoerd met deze functies.

In de gedane pilot is gerekend met de door het LEI aangegeven saldi van aardappels en tulpen. Het model is qua opzet zodanig, dat nieuwe inzichten hierin erg eenvoudig ingevoerd kunnen worden.

Voor de zuidwestelijke delta is de €ureyeopener zodanig opgezet dat naast variabele invoer van streefconcentraties of inlaatconcentraties ook instantaan maatregelen kunnen worden doorgerekend voor wel/geen berekening en verandering van grondgebonden gewassen. Ook was in de opzet ingezet om instantaan het effect van regelbare drainage en andere waterconserveringsmaatregelen door te rekenen. Mede omdat in de zuidwestelijke delta sprake is van eilanden was daartoe een opzet gekozen op rasterbasis. Gegeven het boezemsysteem van HHNK ligt het voor de hand om niet ook voor een rasteropzet te kiezen maar een schematisatie in poldereenheden. Binnen iedere poldereenheid kan het landsysteem (de grondgebonden landbouw) geschematiseerd worden door de rekenplots voor SWAP-WOFOST te definiëren in tabellen en per rekenplot het representatieve oppervlak op basis van de BRP aan te geven. Er kan echter ook gekozen worden voor een opzet waarbij binnen de poldereenheden de rekenplots van SWAP-WOFOST wel ruimtelijk worden weergegeven. Het voordeel hiervan is dat dan op directe wijze berekeningen van effecten van landgebruiksverandering en wel/geen berekening net als de applicatie voor de zuidwestelijke delta instantaan kunnen worden berekend. Daarmee wordt het model wel een stuk complexer en zou idealiter op iedere gridcel de SWAP-WOFOST berekeningen van de rekenperiode moeten worden uitgevoerd voor een breed scala aan gewassen.

Een belangrijke meerwaarde van de €ureyeopener is dat inzicht wordt verkregen in de efficiency van het doorspoelregiem. Met een optimalisatie routine (zoals in de pilot gedaan met de zogenaamde 'solver' in Excel) kan een minimale inlaat worden berekend. Het verdient de aanbeveling om de daarbij te hanteren randvoorwaarden (maximale inlaatcapaciteiten, streefgehalten polderwater) qua invoer transparant zichtbaar te maken en daarmee ook gemakkelijk te wijzigen.

In polders als de Anna Paulowna wordt de hoeveelheid inlaatwater sterk bepaald door het streefgehalte van het chloridegehalte. Als hiermee gevarieerd wordt, moet steeds bedacht worden dat de hoeveelheid doorspoelwater dan sterk bepaald wordt door het verschil tussen de concentratie van het inlaatwater en de streefconcentratie. Het spreekt vanzelf dat als dit verschil heel klein is (het inlaatwater maar een heel klein beetje zoeter dan het polderwater), dat dan zeer grote en daarmee onrealistische grote hoeveelheden inlaatwater worden berekend. Daar is in de pilot rekening mee gehouden door een drempel te hanteren dat dit verschil minimaal 50 mg/l moet zijn. Een zelfde drempel is gehanteerd voor situaties waar het polderwater maar een klein beetje zoeter is dan het streefconcentratie. Zo'n drempel is ook ingebouwd voor situaties waarbij het inlaatwater weliswaar zoeter is dan de streefconcentratie, maar wel veel zoeter dan het polderwater. Het model berekent dan een doorspoelbehoefte tot het polderwater een chlorideconcentratie bereikt die 50 mg/l zoeter is dan het inlaatwater. Het verdient de aanbeveling om deze drempelwaarden als variabele in te kunnen voeren en te toetsen in hoeverre de rekenresultaten in polders en het gehele boezemsysteem hierdoor sterk worden beïnvloed.

Een andere meerwaarde van de €ureyeopener is dat gewasopbrengsten uitgedrukt kunnen worden in euro's. Dit op basis van saldi. Als ook de kosten van inlaat, uitlaat en te berekenen maatregelen in euro's uitgedrukt worden, kan de efficiency van het zoetwaterbeheer worden berekend. Voor de beleidsafweging over het weer zout laten worden van het Volkerak Zoommeer is de €ureyeopener met succes ingezet om de kosten en baten van de alternatieve zoetwatervoorziening te berekenen. Daarbij

is veel discussie geweest over te hanteren saldi, met name voor de fruitteelt. Andere of nieuwe inzichten in de vertaling van gewasopbrengsten naar euro's kunnen gemakkelijk (op directe wijze) in de applicatie worden verwerkt. In de onderhavige pilot is geen aandacht besteed aan kosten-baten analyses. Wel is in de applicatie de saldi van de beschouwde aardappels en tulpen opgenomen en worden aldus in iedere berekening een opbrengstderving door zout- en droogteschade, uitgedrukt in euro's, berekend.

Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, & Stuyt, L.C.P.M. (2011). Actualisering van de kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen. Op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaringen. Wageningen.
- Boogaard, H.L., Wit, A.J.W. De, Roller, J.A. te, & Diepen, C.A. Van (2011). User's guide for the WOFOST Control Center 1.8 and WOFOST 7.1.3 crop growth simulation model. Wageningen. Retrieved from <http://www.wofost.wur.nl>
- Kroes, J.G., J.C. van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks and C.M.J. Jacobs, 2009. SWAP version 3.2(26). Theory description and user manual. Alterra-report 1649(update 02), 284 pp, Alterra, Research Institute, Wageningen, The Netherlands. Available on line: www.swap.alterra.nl
- Kroes, J., Bartholomeus, R., Dam, J. Van, Hack-ten Broeke, M., Supit, I., Hendriks, R., Wit, A. de, Bolt, F. van der, Walvoort, D., Hoving, I., Bakel, J. van. (2015). Waterwijzer Landbouw, fase 2, Modelleren van het bodem-water-plantsysteem met het gekoppelde instrumentarium Swap-Wofost. STOWA Rapport 2015-16 (Vol. 2015). Amersfoort. Retrieved from www.stowa.nl
- Lu Xiong (2014). From Salinization to Solution, The Ecoreyeopener applied in Anna Paulowna, a case study to demonstrate its applicability on a small scale. M.Sc. Thesis Lu Xiong, Water Resource Management Group WUR, May 2014.
- Ploegman, C. (1978). Het Chloride-ion in de grond in relatie tot de opbrengst bij tulpen. Landbouwkundig Tijdschrift, 90-2.
- Ruijter, F.J. De ; Rossing, W.A.H. ; Schans, J. (1993). Simulatie van opbrengstvorming bij tulp met WOFOST. CABO-DLO Simulation reports / CABO-TT (nr. 33), Wageningen.
- Velstra, J., van Staveren, G., Oosterwijk, J., Van der Werff, R., Tolk, L. & Groen, J., 2013. Verziltingsstudie Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Eindrapport. Acacia Water. pp. 175
- Wolf, J., Mandryk, M., Kanellopoulos, A., Oort, P. van, Schaap, B., Reidsma, P., & Ittersum, M. van. (2010). Methodologies for analyzing future farming systems and climate change impacts in Flevoland as applied within the AgriAdapt project. Report no. 1. Wageningen. Retrieved from <http://www.klimaatlandbouw.wur.nl/NL/Projecten/Agri-ADAPT/>
- Schipper, P.N.M., G.M.C.M. Janssen, N.B.P. Polman, V.G.M. Linderhof, P.J.T. van Bakel, H.T.L. Massop, R.A.L. Kselik, G.H.P. Oude Essink en L.C.P.M. Stuyt, 2014. "Ecoreyeopener 2.1: Zoetwatervoorziening Zuidwestelijke Delta en Rijnmond-Drechtsteden". Alterra-rapport 2510.
- Schipper, P.N.M., G.M.C.M. Janssen, N.B.P. Polman, V.G.M. Linderhof, P.J.T. van Bakel, H.M. Massop, R.A.L. Kselik en L.C.P.M. Stuyt, 2014. "Effect zout Volkerak-Zoommeer op de zoetwatervoorziening van de landbouw, Berekening droogte- en zoutschade met Ecoreyeopener 2.1 voor Tholen, St. Philipsland, Oostflakkee, Reigersbergsche en PAN-polders. Alterra-rapport 2511.
- Stuyt, L.C.P.M., P.J.T. van Bakel, J. Delsman, H.T.L. Massop, R.A.L. Kselik, M.P.C.P. Paulissen, G.H.P. Oude Essink, M. Hoogvliet en P.N.M. Schipper, 2013. Zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap van Rijnland, Onderzoek met hulp van Ecoreyeopener 1.0. Alterra-rapport 2439.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 2757
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 2757
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.