



Integraal Waterbeheer - kritische zone en onzekerheden

Integraal hoofdrapport

Alterra-rapport 2443
ISSN 1566-7197

P.N.M. Schipper, P. Bogaart, A. Groot, J.G. Kroes, J.P. Mol-Dijkstra, M. Mulder, I. Supit, P. Verweij, P.E.V. van Walsum, G.W.W. Wamelink, E. van Baaren, R. van Ek, G. Oude Essink, Faneca Sanchez, A. Bakker, J. Bessembinder, P. Janssen, M. F. van Geer, E. Simmelink en J. van der Sluijs

Integraal Waterbeheer - kritische zone en
onzekerheden Integraal hoofdrapport

Het NMDC-onderzoek werd door Wageningen UR uitgevoerd binnen het KennisBasisprogramma 'Duurzame ontwikkeling van de groenblauwe ruimte' (KB-14). In dit door het ministerie van EZ gefinancierde onderzoek betrof het vooral de deelprojecten 'Modelinfrastructuur deel Hydrologie; feedbacks tussen klimaat, vegetatie, bodem en grondwater' en 'Internationale dimensies van Nederlands adaptiebeleid: omgaan met onzekerheden'.

Projectcodes: KB-14-010-001, KB-14-001-019 en KB-14-005-020

Integraal Waterbeheer - kritische zone en onzekerheden

Integraal hoofdrapport

P.N.M. Schipper (ed.)¹, P. Bogaart¹, A. Groot¹, J.G. Kroes¹, J.P. Mol-Dijkstra¹, M. Mulder¹, I. Supit¹, P. Verweij¹, P.E.V. van Walsum¹, G.W.W. Wamelink¹, E. van Baaren², R. van Ek², G. Oude Essink², Faneca Sanchez², A. Bakker³, J. Bessembinder³, P. Janssen⁴, M. F. van Geer⁵, E. Simmelink⁵ en J. van der Sluijs⁶

¹ Alterra Wageningen UR

² Deltares

³ KNMI

⁴ PBL

⁵ TNO

⁶ UU

Alterra-rapport 2443

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2013



Referaat

P.N.M. Schipper (ed.), P. Bogaart, A. Groot, J.G. Kroes, J.P. Mol-Dijkstra, M. Mulder, I. Supit, P. Verweij, P.E.V. van Walsum, G.W.W. Wamelink, E. van Baaren, R. van Ek, G. Oude Essink, Faneca Sanchez, A. Bakker, J. Bessembinder, P. Janssen, M. F. van Geer, E. Simmelink en J. van der Sluijs. *Integraal Waterbeheer – kritische zone en onzekerheden; Integraal hoofdrapport*. Wageningen, Alterra-rapport 2443; 58 blz; 13 fig.; 2 tab.; 27ref.

In het kader van het Nationaal Modellen- en Datacentrum (NMDC) is in 2011 het NMDC innovatieproject 'Integraal waterbeheer - van kritische zone tot kritische onzekerheden' gestart (www.nmdc.eu). Dit project heeft tot doel om de modellen voor bodem, water, vegetatie en klimaat(verandering) door samenwerking beter op elkaar aan te laten sluiten, daarbij beter geschikt te maken om effecten van klimaatverandering te berekenen en om de verschillende typen onzekerheden bij dit soort studies in beeld te brengen. Het project is uitgevoerd door Alterra, Deltares, KNMI, PBL en TNO. In twee cases (Baakse Beek en Walcheren) hebben zij hun state-of-the-art modellen voor meteo, gewasgroei, vegetatie-ontwikkeling, hydrologie en geologie ingezet en aan elkaar gekoppeld. Dit rapport behandelt integraal de resultaten van het innovatieproject. De resultaten van de case voor de Baakse Beek zijn specifiek opgenomen in een NMDC deelrapport (Van Ek et al., 2012). Voor de case Walcheren wordt verwezen naar een artikel in voorbereiding (Kroes, J. et al., 2013). De resultaten bieden nieuwe inzichten in de vocht- en zouthuishouding van de bodem, potenties voor grondwaterafhankelijke natuur en groei van landbouwgewassen in het huidige klimaat en projecties voor klimaatverandering rond 2050. In het project zijn verschillende methoden toegepast om inzicht te krijgen in verschillende onzekerheden, hetgeen voor dergelijke integrale (model)studies praktische aanknopingspunten biedt voor de analyse van onzekerheden en effectieve samenwerking tussen de instituten.

Trefwoorden: regionale modellering, hydrologie, landbouw, natuur, klimaatverandering, onzekerheden

ISSN 1566-7197

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

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

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

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

Alterra-rapport 2443

Wageningen, mei 2013

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	11
1.1 Probleemomschrijving	11
1.2 Doelstelling van het rapport	11
1.3 Aanpak van het project	12
1.4 Afbakening	13
1.5 Projectteam	13
1.6 Leeswijzer	13
2 Innovaties modelketen laag- en hoog Nederland	15
2.1 Innovaties modelconcepten laag Nederland (Walcheren)	15
2.2 Innovaties modelconcepten hoog Nederland (Baakse Beek)	18
2.3 Visualisaties	23
3 Koppelingen modelketens	27
3.1 Inleiding	27
3.2 Koppelingen modelketen Walcheren	27
3.3 Koppelingen modelketen Baakse Beek	29
4 Onzekerheden	33
4.1 Theoretisch kader onzekerheden rekenmodellen	33
4.2 PBL-leidraad 'omgaan met onzekerheden'	36
4.3 Bruikbaarheid leidraad	36
4.4 Kwalitatieve analyse onzekerheden modelketen	37
5 Informatiebehoefte stakeholders	41
5.1 Doelen	41
5.2 Aanpak	41
5.3 Deelrapport stakeholderanalyse werkpakket 1	42
5.4 Resultaten Walcheren	42
5.5 Resultaten Baakse Beek	43
5.6 Kritische knelpunten stakeholderanalyse	44
5.7 Sluiten de (model)resultaten aan op hun behoeften?	45
6 Samenwerking instituten	47
6.1 Hoe is samengewerkt	47
6.2 Hoe wordt in de toekomst samengewerkt?	47
7 Bijdrage project aan NMDC	49
8 Conclusies en aanbevelingen	51
8.1 Conclusies	51
8.2 Aanbevelingen	53
Referenties	57

Samenvatting

De komende decennia verandert het klimaat, landgebruik en de manier van landbouw en natuurbeheer. Wat betekent dit voor grondwater, landbouw en natuur die afhankelijk zijn van voldoende water van de juiste kwaliteit? De waterbeheerders hebben behoefte aan kwantitatieve inzichten en bijkomende onzekerheden zodat zij de komende jaren goed op de veranderingen kunnen anticiperen. Nederlandse Kennisinstituten ontwikkelen daarom modellen die meer dan voorheen rekening houden met verandering van temperatuur, CO₂-gehalten, opeenvolgende droge en natte jaren en de terugkoppelingen die er zijn tussen de groei van vegetatie / gewassen en de vocht- en zouthuishouding in de ondiepe bodem.

Het goed op elkaar aansluiten van deze modellen is complex en vergt een intensieve samenwerking tussen de experts van de betrokken instituten. Alterra heeft daarom het initiatief genomen voor de onderhavige studie die is uitgevoerd in het kader van het Nationaal Modellen- en Datacentrum (NMDC). In 2011 is deze studie gestart als NMDC innovatieproject 'Integraal waterbeheer - van kritische zone tot kritische onzekerheden' gestart (www.nmdc.eu). De projectdoelen waren om de modellen voor bodem, water, vegetatie en klimaat(verandering) door samenwerking beter op elkaar aan te laten sluiten, daarbij beter geschikt te maken om effecten van klimaatverandering te berekenen en om de verschillende typen onzekerheden bij dit soort studies in beeld te brengen. Het project is uitgevoerd door Alterra, Deltares, KNMI, PBL en TNO. In twee cases (Baakse Beek en Walcheren) hebben zij hun state-of-the-art modellen voor meteo, gewasgroei, vegetatie-ontwikkeling, hydrologie en geologie ingezet en aan elkaar gekoppeld.

Case 1 Walcheren

In de case Walcheren is een koppeling gelegd tussen regionale klimaatscenario's, het geohydrologische Zoet-Zout grondwatermodel van Zeeland (deelgebied Walcheren), dat stroming van zoet-brak-zout grondwater simuleert (Baaren et al., 2012), het model SWAP dat de vocht- en zouthuishouding in het ondiepe bodemprofiel berekent en het gewasproductie-model WOFOST. Er zijn door het KNMI nieuwe klimaatreeksen opgesteld met een nieuw ontwikkelde methode, waarbij beter rekening is gehouden met ruimtelijke verschillen in het klimaat in Nederland. Met de nieuwe klimaatreeksen is met het hydrologische model SWAP-WOFOST een referentiesituatie doorgerekend (1981 t/m 2010 op dagbasis) en vier klimaatscenario's (G, G+, W, W+ voor een periode rond 2050). Nieuw was dat SWAP-WOFOST iteratief was gekoppeld aan het Zoet-Zout grondwatermodel, waardoor rekening kon worden gehouden met terugkoppelingseffecten tussen de gewasgroei, vocht-huishouding in de onverzadigde zone en grondwateraanvulling onder invloed van verhoogde CO₂ en temperatuur. Daarbij zijn voor deze case realisaties van de doorlatendheden van de ondergrond stochastisch berekend met GeoTOP (TNO). Deze zijn vervolgens gebruikt in het Zoet-Zout grondwatermodel om te kwantificeren hoe onzekerheden over de bodemopbouw doorwerken op de berekende stroming en zoutgehalten van het grondwater en op het uittredende drain- en kwelwater.

Case 2 Baakse Beek

In de case Baakse Beek is een koppeling gelegd tussen regionale klimaatscenario's, het hydrologische model AMIGO, het gewasproductie model WOFOST en het bodem-natuur-effectmodel SMART2-SUMO2-NTM3. In deze studie zijn ook klimaatreeksen opgesteld die beter de regionale verschillen in klimaat binnen Nederland weergeven. Nieuw daarbij was dat de klimaatverandering niet alleen op de individuele meetstation-reeksen was gesuperponeerd, maar dat de klimaatveranderingen ook ruimtelijk (op rasterniveau) werden gegenereerd. De nieuwe klimaatreeksen vormden de invoer voor het hydrologisch model AMIGO (Actueel Model Instrument Gelderland Oost), dat gebruikt werd om het gebiedsproces in de Baakse Beek te ondersteunen (Linden et al., 2008). Dit model is ontwikkeld door Deltares/TNO, Alterra, TAUW en Royal Haskoning in opdracht van de provincie Gelderland, waterschap Rijn en IJssel en Vitens. AMIGO bestaat uit een MODFLOW-model dat

gekoppeld is aan de onverzadigde zone module CAPSIM (2008). Nieuw in deze studie was dat de onverzadigde zone module CAPSIM vervangen is door MetaSWAP. MetaSwap is een 'meta'-model van SWAP dat gebruikt wordt om SWAP te vervangen bij het grootschalig doorrekenen van bodem-plant-atmosfeerkolommen, die gekoppeld zijn aan geïntegreerde gebiedsmodellen van grond- en oppervlaktewater (Van Walsum en Veldhuizen, 2011). Met deze nieuwe koppeling is het AMIGO-model opnieuw gekalibreerd. Dit heeft tot een significante modelverbetering geleid, met betere perspectieven voor het uitbreiden van de functionaliteit. Bovendien sloot het modelconcept daarmee beter aan op het NHI, omdat daar ook met MetaSWAP wordt gerekend. Nieuw was ook dat het gewasproductiemodel WOFOST via MetaSWAP online heeft meegedraaid met de AMIGO-berekeningen, waardoor rekening kon worden gehouden met terugkoppelingseffecten tussen vegetatie op de hydrologie onder invloed van verhoogde CO₂ (Witte et al., 2006) en temperatuur. Naast gewasproductie met het model WOFOST is met het model SMART2-SUMO2-NTM3 (Wageningen UR) ook het effect op groeiplaatsomstandigheden (standplaatscondities), biomassa en natuurwaarden bepaald. Met de modellenketen is de referentiesituatie doorgerekend (1981 t/m 2010 op dagbasis) en de vier klimaatscenario's (G, G+, W, W+ rond 2050). Veranderingen in vegetatiebeheer en landgebruik zijn niet meegenomen in de klimaatscenario's.

Stakeholderinterviews

Door het koppelen en schalen van verschillende hydrologische en gewasopbrengst-modellen streeft het NMDC-project naar het aanbieden van informatie die beter aansluit op de behoeften van de potentiële gebruikers van dit modelleninstrumentarium. Om deze behoeften in beeld te krijgen werden in beide casestudiegebieden stakeholderanalyses uitgevoerd. Op Walcheren was de stakeholderanalyse gefocust op de 'zoetwaterbeschikbaarheid' en in de case Baakse beek op 'wateroverlast en watertekort'. In hoofdstuk vijf komt de informatiebehoefte van de stakeholders uitgebreid aan de orde.

De stakeholderinterviews zijn gebruikt om inzicht te krijgen in 'welke type(n) informatie gebruiken stakeholders tot op heden bij hun besluitvorming op het gebied van zoetwaterschaarste, verdroging en/of natschade, en in hoeverre maakt men gebruik van wetenschappelijke informatie' en 'welke graadmeters (indicatoren) worden gebruikt om te bepalen of een bepaalde maatregel effectief is'. Hiervoor zijn met één of meerdere vertegenwoordigers van provincie, waterschap, LTO en natuurmonumenten gesprekken gevoerd. De interviews werden afgenomen door twee projectleden, waaronder één persoon die ook betrokken was bij het koppelen en schalen van de modellen. Dit is gedaan om de behoeften van stakeholders direct mee te kunnen nemen in de ontwikkeling van het modelleninstrumentarium. De interviews werden voorafgegaan door een literatuurscan.

Uit de stakeholderanalyse zijn een aantal kritische knelpunten naar voren gekomen, die gebaseerd zijn op de ervaring van de betrokken onderzoekers, inclusief de resultaten van de stakeholder feedback bijeenkomsten in de twee casestudiegebieden. Tijdens het koppelen en schalen van de verschillende modellen, hebben de onderzoekers slechts in beperkte mate rekening kunnen houden met behoeften en wensen van stakeholders. Er bleken te weinig flexibiliteit en middelen binnen het project om de modelresultaten aan te passen aan de geuite behoeften. Het rapport geeft hiervan een aantal voorbeelden.

Tussen het draaien van het modelinstrumentarium en het aanleveren van de gewenste resultaten werden een aantal 'vertalingsactiviteiten' uitgevoerd. Dit was noodzakelijk om dié informatie aan te leveren waaraan behoefte was ofwel de informatie in een dusdanige vorm te gieten dat deze de besluitvorming van de gebruikers kon ondersteunen. Hierbij was het noodzakelijk om onderscheid te maken tussen verschillende typen gebruikers. In het NMDC project ontbraken zowel de flexibiliteit als de middelen om deze vertaalslagen uit te voeren.

Er blijkt veel vraag naar een modelinstrumentarium waarmee de effecten van maatregelen bepaald kunnen worden, zoals bijvoorbeeld het effect van peilgestuurde drainage op de grondwaterstand die verandert onder invloed van klimaatverandering.

Het uitvoeren van metingen voor het valideren van modellen draagt sterk bij aan de acceptatie ervan. Het uitvoeren van metingen wordt als belangrijker gezien dan een herhaling van modelruns met meer detail of andere parameters.

Onzekerheden

Proces-response modellen (of modelketens) worden gebruikt om ontwikkelingen in te schatten, om het effect van maatregelen door te rekenen en om besluiten te nemen. Zo'n model geeft altijd een antwoord op de vraag 'wat gebeurd er als ...'. Indien we uitspraken willen doen met een model(keten) is het belangrijk om een indicatie te hebben in hoeverre de uitspraak de (toekomstige) werkelijkheid benadert, anders gezegd, hoe ver kan een modelresultaat ernaast zitten. Het is daarom van belang om inzicht te hebben in de onzekerheden van modeluitkomsten.

Via een modelketen werken verschillende bronnen van onzekerheid door tot in het uiteindelijke resultaat. De relatie tussen de onzekerheid in deze bronnen en in de modeluitkomst kan in principe via onzekerheidsanalyse kwantitatief worden gemaakt. De modelketen is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid, waarin niet alle processen beschreven worden. Onzekerheden als gevolg van het verwaarlozen van processen worden niet via de modelketen gekwantificeerd. In de NMDC-studie zijn macro-economische, politieke en demografische veranderingen niet in beschouwing genomen en de onzekerheden omtrent de ontwikkelingen in deze domeinen komen dan ook niet terug in de gekwantificeerde onzekerheid van de voorspellingen.

Er zijn verschillende fasen in de modellering waar onzekerheid een rol speelt. De eerste fase is de modelbouw/kalibratie. Essentieel hierbij is dat we de modelberekening kunnen confronteren met waarnemingen en daarmee een bestaande situatie zo goed mogelijk willen beschrijven. Hebben we eenmaal een model, dan kan het model in de tweede fase gebruikt worden voor projecties en scenario's. Het model beschrijft dan een (nog) niet bestaande situatie en kan dus ook niet worden geconfronteerd met werkelijke waarnemingen. In beide fasen zijn vele bronnen van onzekerheid te onderkennen. Voor een enkelvoudig model kunnen we bijvoorbeeld modelconcept, input en parameter-onzekerheden onderscheiden. Bij een combinatie van meerdere modellen kan er ook onzekerheid ontstaan door conversie van het ene model naar het andere, bijvoorbeeld als gevolg van schaafeffecten, de zgn. conversie-onzekerheden.

Ten aanzien van onzekerheden is binnen deze studie specifiek gekeken naar de toepasbaarheid van de PBL Leidraad 'Omgaan met onzekerheden' als hulpmiddel om op een gestructureerde manier onzekerheden in beeld te brengen. Bij de stakeholderanalyse is ook gevraagd hoe belanghebbenden aankeken tegen het gebruik van modellen om onzekerheden ten aanzien van klimaatverandering in beeld te brengen, of er voldoende aansluiting was vanuit de bestaande modellen op hun informatiebehoefte en hoe die aansluiting verbeterd kon worden. Uiteindelijk zijn onzekerheden in beeld gebracht door per model stil te staan bij: de interne modelparameter onzekerheid, de invoer onzekerheid, modelconcept onzekerheid, kalibratie, validatie, gevoeligheidsanalyse en bruikbaarheid in relatie tot gebruiksvragen.

1 Inleiding

1.1 Probleemomschrijving

De komende decennia zullen het klimaat en de sociaaleconomische omstandigheden in Nederland verder veranderen. Dit heeft consequenties voor de kwantiteit en kwaliteit van grond- en oppervlaktewater en de landbouw en natuur die afhankelijk zijn van voldoende water van de juiste kwaliteit. De waterbeheerders, beleidsmakers voor ruimtelijke ordening, agrariërs en natuurbeheerders willen de komende jaren hierop anticiperen. Zij hebben behoefte aan informatie over de gevolgen van de klimaatverandering en sociaaleconomische ontwikkelingen en inzicht in optionele maatregelen. Het liefst kwantitatief zodat ze de noodzaak van maatregelen kunnen beoordelen, beargumenteren en de verschillende opties onderling kunnen vergelijken.

Echter, de huidige grond- en oppervlaktewater-modellen en daaraan te koppelen modellen die hydrologische effecten vertalen naar de gewasopbrengst in landbouw en natuurwaarden, dekken vaak niet deze informatiebehoefte. Ook worden de onzekerheden over de modeluitkomsten niet transparant in beeld gebracht. Een bijkomend probleem is dat de beleidsvragen zelf ook niet vastomlijnd zijn en snel kunnen veranderen. Dit heeft tot gevolg dat voor het beantwoorden van een deelvraag bepaalde facetten tot in detail worden doorgerekend, waarna bij oplevering ervan blijkt dat een veel grovere of meer globale uitkomst had volstaan en andere facetten juist meer in detail doorgerekend hadden moeten worden. Kortom, uitkomsten van modelinstrumenten voor het waterbeheer sluiten dikwijls niet goed aan op de informatiebehoefte van de waterbeheerders.

Om een verdere integrale aanpak te stimuleren en te structureren en om versnippering van de onderzoeksresultaten te voorkomen, is het Nationaal Modellen- en Data Centrum (NMDC) in 2010 opgericht. Het NMDC wil toegepaste modellen voor strategisch onderzoek op het gebied van de leefomgeving harmoniseren en integreren. In dit kader is het innovatieproject ' Integraal waterbeheer - van kritische zone tot kritische onzekerheden' geïnitieerd. Binnen het NMDC is dit project ingebracht onder de cluster 'Innovatieprojecten' vanwege:

- ontsluiting van kennis zowel intern door het bijeenbrengen van verschillende expertisevelden vanuit de deelnemende instituten en extern door extra aandacht te besteden aan de vraagarticulatie bij stakeholders en daarbij zaken als onzekerheden in modeluitkomsten te benoemen en te kwantificeren.
- realisatie van enkele nieuwe koppelingen tussen modellen afkomstig van de verschillende instituten, waarbij nieuwe verschalingsmethoden van datastromen tussen deze modellen worden ontwikkeld.

1.2 Doelstelling van het rapport

De doelstelling is om met het project:

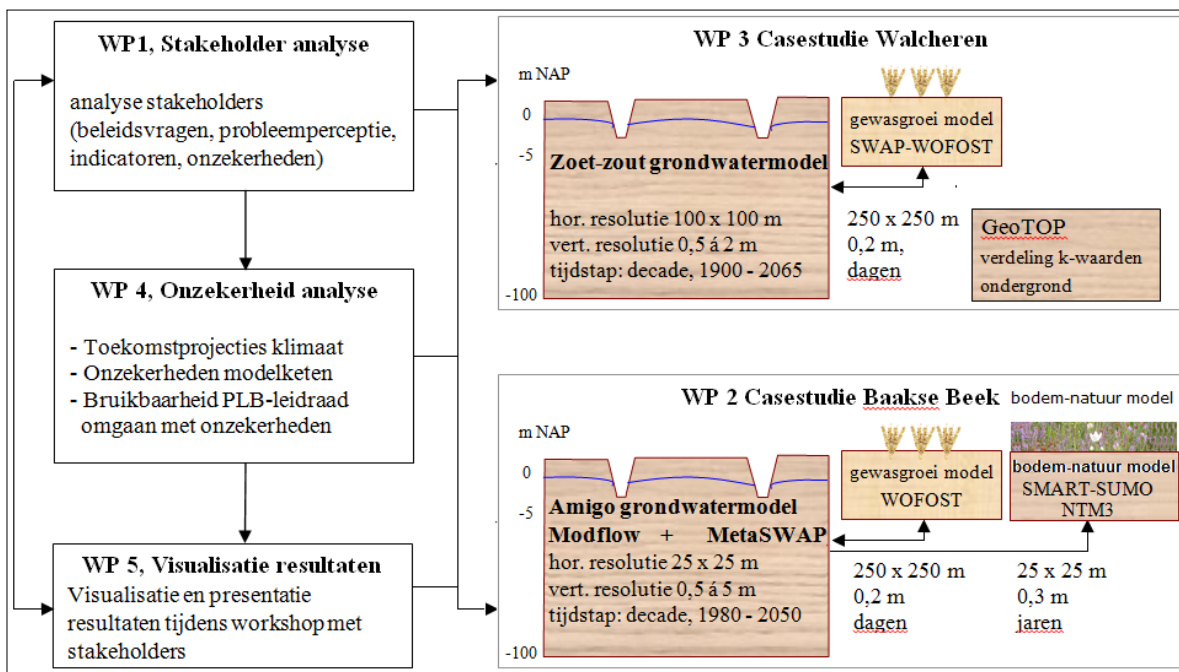
- Methoden te ontwikkelen om modellen voor hydrologie, gewasopbrengst landbouw en natuur te koppelen en te schalen (tijd en ruimteschalen) om uiteindelijk beter te kunnen aansluiten bij de informatiebehoeften van stakeholders.
- Onzekerheden rond data, modelconcepten en klimaatverandering te analyseren en methoden te ontwikkelen om deze nader kwantitatief en kwalitatief in kaart te brengen.
- Bij de onzekerheidsanalyse ook te kijken naar onzekerheden die voortkomen uit verschillende percepties die stakeholders hebben rond de problemen zoals wateroverlast en watertekort en gevolgen van klimaatverandering.

- De modelresultaten en onzekerheden zodanig in kaart brengen (visualiseren) en interactief te presenteren dat de resultaten beter aansluiten bij de informatiebehoefte van de waterbeheerders en andere stakeholders.
- De samenwerking tussen de Nederlandse kennisinstututen te bevorderen opdat zij hun kennis in de toekomst efficiënter en beter op elkaar afgestemd kunnen inzetten.

Nevendoelestelling is om met het project onderdelen van de PBL-leidraden 'Stakeholder-participatie' en 'Omgaan met onzekerheden' in de casussen toe te passen en te evalueren of dit meerwaarde biedt voor de stakeholder- en onzekerheidsanalyse.

1.3 Aanpak van het project

Het project is uitgevoerd in vijf werkpakketten zoals aangegeven in figuur 1.



Figuur 1

De vijf werkpakketten van het project: Integraal Waterbeheer, kritische zone en onzekerheden.

In de aanpak staat centraal dat in twee concrete deelgebieden (Hoog- en Laag-Nederland) innovatieve modellen voor de hydrologie, landbouwopbrengsten en natuur zijn opgezet, aan elkaar zijn gekoppeld en doorgerekend worden voor klimaatscenario's, waarvan de uitlevering door het KNMI specifiek op de invoer van modellen is afgestemd. In werkpakket 2 is dit de Baakse beek, een zandgebied in de Achterhoek en in werkpakket 3 is dit een gebied op Walcheren, een kleigebied waar de scheiding tussen zoet en zout grondwater vrij ondiep is. In beide gebieden zijn de stakeholders bevroegd en is hun informatiebehoefte geanalyseerd (werkpakket 1). De onzekerheden zijn in werkpakket 4 apart in beeld gebracht via een theoretisch kader en door toepassing van de PBL-leidraad. De resultaten zijn gevisualiseerd in werkpakket 5.

1.4 Afbakening

De focus van het project ligt op het ontwikkelen van een state-of-the-art modelinstrumentarium dat integraal effecten van klimaatsverandering en menselijke ingrepen kan berekenen voor de geohydrologische situatie (grondwater en interactie oppervlaktewater) en de daaraan gekoppelde landbouwgewasopbrengsten en natuurontwikkeling. In het project worden hiervoor nieuwe modelconcepten toegepast, aan elkaar gekoppeld en getest in de twee cases. Ook worden onzekerheden geanalyseerd; kwantitatief met de modellen en kwalitatief met expertkennis, gerichte enquêtes en door toepassing van de PBL-leidraad 'Omgaan met onzekerheden'. Het ontwikkelen van generiek toepasbare software om de koppelingen (buiten de casussen) tot stand te brengen en/of onzekerheden mee te kwantificeren valt buiten de scope van het project.

1.5 Projectteam

Het projectteam is weergegeven in onderstaand schema. De projectleiding is verzorgd door Peter Schipper van Wageningen UR. Jan Meulenbrugge heeft namens NMDC het project begeleid.

Tabel 1

Leden van het projectteam.

Wageningen UR	Deltares	KNMI	TNO	PBL
Peter Schipper (projectleiding)	Gu Oude Essink	Janette Bessembinder	Frans van Geer	Peter Janssen
Joop Kroes	Remco van Ek	Alexander Bakker	Erik Simmelink	Jeroen van der Sluijs (UU)
Iwan Supit	Gijs Janssen	Bart van de Hurk		
Annemarie Groot	Marta Faneca Sanchez			
Wieger Wamelink	Marijn Kuijpers			
Janet Mol	Esther van Baaren			
Martin Mulder				
Peter Verweij				
Ab Veldhuizen				

1.6 Leeswijzer

De resultaten van de casestudie Baakse Beek is in een afzonderlijke rapportage in detail beschreven. Het onderhavige rapport gaat vooral in op de leerpunten die voortkomen uit het innovatieproject.

- Hoofdstuk 2: Wat zijn de innovaties voor de modelketen in hoog- en laag Nederland.
- Hoofdstuk 3: Wat zijn de kritische zones van de modelketens?
- Hoofdstuk 4: Wat zijn de belangrijke onzekerheden? En hoe toepasbaar is de PBL-leidraad 'Omgaan met onzekerheden' in dit soort modelstudies.
- Hoofdstuk 5: Stakeholders; wat is hun informatiebehoefte en sluiten de modellen hierop aan?
- Hoofdstuk 6: Hoe hebben de instituten samengewerkt?
- Hoofdstuk 7: Wat heeft het project bijgedragen aan het NMDC-programma?

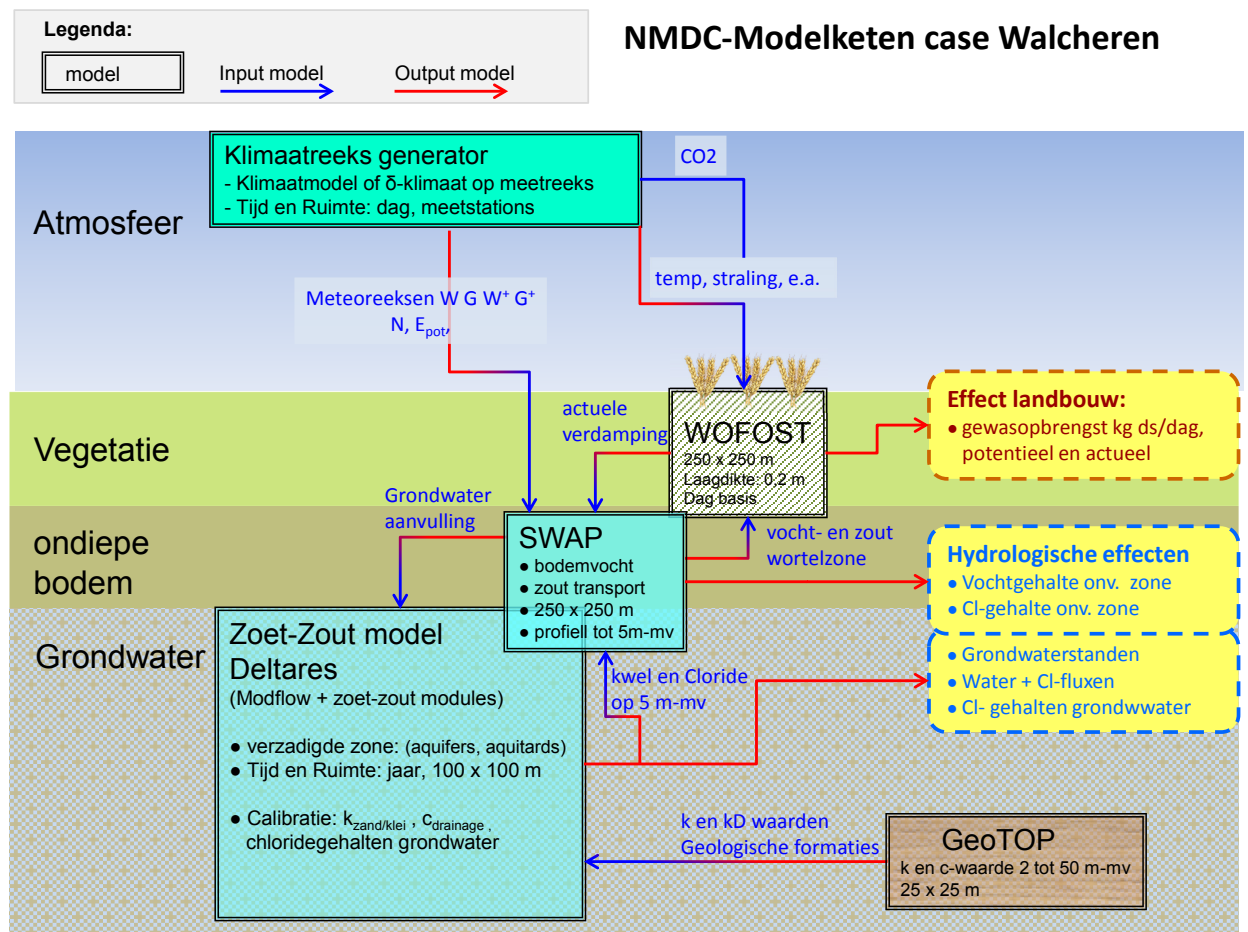
De conclusies en aanbevelingen zijn geformuleerd in hoofdstuk 8.

2 Innovaties modelketen laag- en hoog Nederland

2.1 Innovaties modelconcepten laag Nederland (Walcheren)

In deze case studie is een koppeling gelegd tussen regionale klimaatscenario's, het geohydrologische Zoet-Zout grondwatermodel van Zeeland (deelgebied Walcheren) dat stroming van zoet-brak-zout grondwater simuleert (Baaren et al., 2012 en Oude Essink et al., in voorbereiding), het model SWAP dat de vocht- en zouthuishouding in het ondiepe bodemprofiel berekent en het gewasproductie-model WOFOST.

Figuur 2 geeft een schematisch overzicht van de ontwikkelde modelketen



Figuur 2
 Overzicht van de ontwikkelde modelketen voor de case Walcheren.

In deze NMDC-studie zijn nieuwe klimaatreeksen opgesteld waarbij beter rekening is gehouden met ruimtelijke verschillen in klimaat in Nederland. Dit is uitgewerkt voor neerslag en verdamping. Daarnaast zijn klimaatreeksen opgesteld voor parameters als straling en relatieve luchtvochtigheid die als invoer dienen om

de referentieverdamping te kunnen bepalen volgens Penman-Monteith. De nieuwe klimaatreeksen vormen invoer voor het hydrologisch model SWAP waarmee een referentiesituatie is doorgerekend (1981 t/m 2010, dagbasis) en vier klimaatscenario's G, G+, W, W+ voor rond 2050 (Bakker en Bessembinder, 2012).

Nieuw is dat SWAP is gekoppeld aan het gewasproductiemodel WOFOST en dat hierin een module is toegevoegd waarmee voor de gewasgroei rekening wordt gehouden met zoutschade. Ook nieuw is dat SWAP-WOFOST iteratief is gekoppeld aan het Zoet-Zout grondwatermodel¹ (Baaren et al., 2012). Door deze koppelingen wordt rekening gehouden met terugkoppelingseffecten tussen de gewasgroei, vochtuishouding in de onverzadigde zone en grondwateraanvulling onder invloed van verhoogde CO₂ en temperatuur.

Ook zijn voor de case realisaties van de doorlatendheden van de ondergrond met GeoTOP stochastisch berekend, die weer zijn gebruikt in het Zoet-Zout grondwatermodel om te kwantificeren hoe onzekerheden over de bodemopbouw doorwerken op de berekende stroming en zoutgehalten van het grondwater en zo ook het uittredende drain- en kwelwater.

Met deze modelketen kunnen effecten van klimaatverandering op de stroming en zoutgehalten en de gevolgen voor gewasgroei ruimtelijk worden berekend. Uiteraard kunnen ook effecten van allerlei ingrepen in de waterhuishouding en ander landgebruik worden berekend. De gekozen modelconcepten sluiten aan op het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) en de ontwikkelingen daarin. In het navolgende worden de deelmodellen en de innovaties die binnen de modelketen zijn bewerkstelligd besproken.

Gewasopbrengst modellering met SWAP-WOFOST

In het Nederlandse waterbeheer worden opbrengstdepressies van landbouwgewassen berekend met HELP-tabellen, TCGB-tabellen of Agricom. Deze methoden zijn beperkt toepasbaar om effecten van klimaat te berekenen, omdat ze geen terugkoppeling hebben met toenemende CO₂-gehalten, temperatuur, en extreme droge en natte perioden. Deze factoren zijn sterk van invloed op de gewasopbrengsten. Bovendien zijn de relaties tussen grondwaterstanden en opbrengstdepressies gebaseerd op historische klimaat- en opbrengstgegevens (neerslag en verdamping) in de periode 1950 - 1980, hetgeen (al) niet meer representatief is voor het huidige klimaat.

De meeste deterministische modellen gericht op het simuleren van gewasgroei berekenen de potentiële productie op basis van 'light use efficiency' of op basis van fotosynthese. In Europa wordt het model WOFOST (World FOod STudies)² veel toegepast. Dit model is gebaseerd op de biofysische processen die de productie bepalen, zoals fotosynthese en waterbeschikbaarheid om de potentiële en water-gelimiteerde productie te simuleren. Het model wordt onderhouden en verder ontwikkeld door Alterra Wageningen UR, in samenwerking met de Plant Production System Group van Wageningen UR en de Agri4Cast unit van het Joint Research Centre in Italië.

Wageningen UR heeft in het kader van een KennisBasis-project³ gewerkt aan de koppeling van het gewasgroeimodel WOFOST met de hydrologische modellen SWAP (Kroes en Supit, 2011) en MetaSWAP (Van Walsum en Supit, 2012). Enerzijds kunnen met deze koppeling realistische gewasopbrengsten worden berekend die rekening houden met veranderend klimaat (CO₂, neerslag, temperatuur, straling e.a.). Anderzijds wordt door deze koppeling beter rekening gehouden met de terugkoppeling tussen de gewasgroei en hiervan

¹ Dit model is een deelmodel van het zoet-zout grondwater model van de provincie Zeeland, dat de laatste jaren door Deltares is ontwikkeld. Zie voor meer informatie: <http://zoetzout.deltares.nl>

² <http://www.wofost.wur.nl/UK/>

³ KB-project 'Modelinfrastructuur, deel hydrologie: feedbacks tussen klimaat, vegetatie, bodem en grondwater' (<http://www.kennisonline.wur.nl/Project/project-baps-24842>) dat gefinancierd is door het ministerie van EZ.

afhankelijke condities voor verdamping en capillaire nalevering. Om in de case Walcheren rekening te kunnen houden met zoutshade, is het transport van chloride gemodelleerd, evenals het effect ervan op de gewasgroei in het modelconcept SWAP-WOFOST. Het model berekent zo potentiële en 'water en zout' gelimiteerde gewasopbrengst.

De koppeling tussen SWAP en WOFOST is voor de gewassen gras en aardappels eerst getoetst met metingen van proefpercelen. Gezocht is naar percelen waar zowel de waterhuishouding is gemeten (grondwaterstanden e/o vochtgehalten) als de gerealiseerde gewasopbrengsten in het verloop van het seizoen over meerdere jaren. Op basis van deze 'ijk-percelen' konden de rekenparameters voor WOFOST worden gekalibreerd. Bedacht moet worden dat deze toetsing nog vrij beperkt is uitgevoerd en dat er nog geen onzekerheidsanalyse is uitgevoerd om de betrouwbaarheid van de rekenresultaten goed te onderbouwen. Dit geldt vooral voor aardappels, omdat de toetsing op perceelsniveau vooralsnog alleen is uitgevoerd voor twee percelen in Schotland.

Modelkoppeling SWAP-WOFOST en het Zoet-Zout grondwatermodel

SWAP-WOFOST houdt geen rekening met de ruimtelijke (3D) component van het grondwater en bijbehorende chlorideconcentraties. Daarom biedt het meerwaarde SWAP-WOFOST te koppelen aan het geohydrologische Zoet-Zout grondwatermodel. In het project is veel aandacht besteed aan de koppeling met het Zoet-Zout grondwatermodel. Voor de randvoorwaarden van de ondergrond (op vijf meter diepte) rekt SWAP per gridcel met de gemiddelde grondwaterstijghoogte en het zoutgehalte dat met het Zoet-Zout grondwatermodel is berekend. En vice versa rekt vervolgens het Zoet-Zout grondwatermodel met de gemiddelde grondwateraanvulling die met SWAP-WOFOST wordt berekend. De iteraties tussen deze modellen zijn 'op afstand' uitgevoerd; Deltares rekt op hun computers met het Zoet-Zout grondwatermodel en Wageningen UR met hun computers met SWAP-WOFOST. Om de koppelingen te realiseren moest rekening worden gehouden met de verschillende in temporele schaal (dag- versus jaren) en ruimtelijke schaal (100 x 100 m versus 250 x 250 m). Hiertoe zijn omzettingsprogramma's geschreven in de programmeertaal R en FORTRAN. Ook is aandacht besteed aan het goed kunnen rekenen met de klimaatreeksen. Daartoe zijn tools gemaakt die de output van het KNMI (de klimaatreeksen) omzet naar input voor SWAP-WOFOST.

Klimaatreeksen

Het KNMI heeft een nieuwe methode ontwikkeld om voor diverse variabelen, anders dan neerslag, temperatuur en verdamping, tijdreeksen te genereren die passen bij de klimaatscenario's; namelijk die parameters die aanvullend nodig zijn om de verdamping te berekenen met Penman-Monteith. Deze parameters zijn essentieel om de geohydrologie en gewasgroei te kunnen simuleren met SWAP-WOFOST. Er is ook een verbeterde methode bedacht om ontbrekende stralingsdata bij de meteorologische hoofdstations aan te vullen, waardoor de geleverde tijdreeksen 'homogener' zijn dan voorheen. Tenslotte is er een nieuwe schaling bedacht om de dagelijkse geobserveerde data van weerstation Vlissingen (referentiedata) representatiever te maken voor het klimaat in Noord-Walcheren. Dit is gedaan omdat er relatief grote klimatologische verschillen zijn binnen Zeeland. De reeksen zijn gegenereerd voor een 30-jarige periode rond 2050 én voor de periode tussen nu (2011) en 2035. Dit is belangrijk omdat de chlorideconcentratie die het model berekent door de jaren verandert en gestuurd wordt door voortgaande intrusie van zeewater en fossiel zout grondwater van diepe mariene afzettingen. Zonder deze aanvulling (innovatie) zou het grondwatermodel geen adequate meteo-invoer hebben voor de periode 2011 - 2035.

Modelrealisaties doorlatendheden ondergrond met GeoTOP

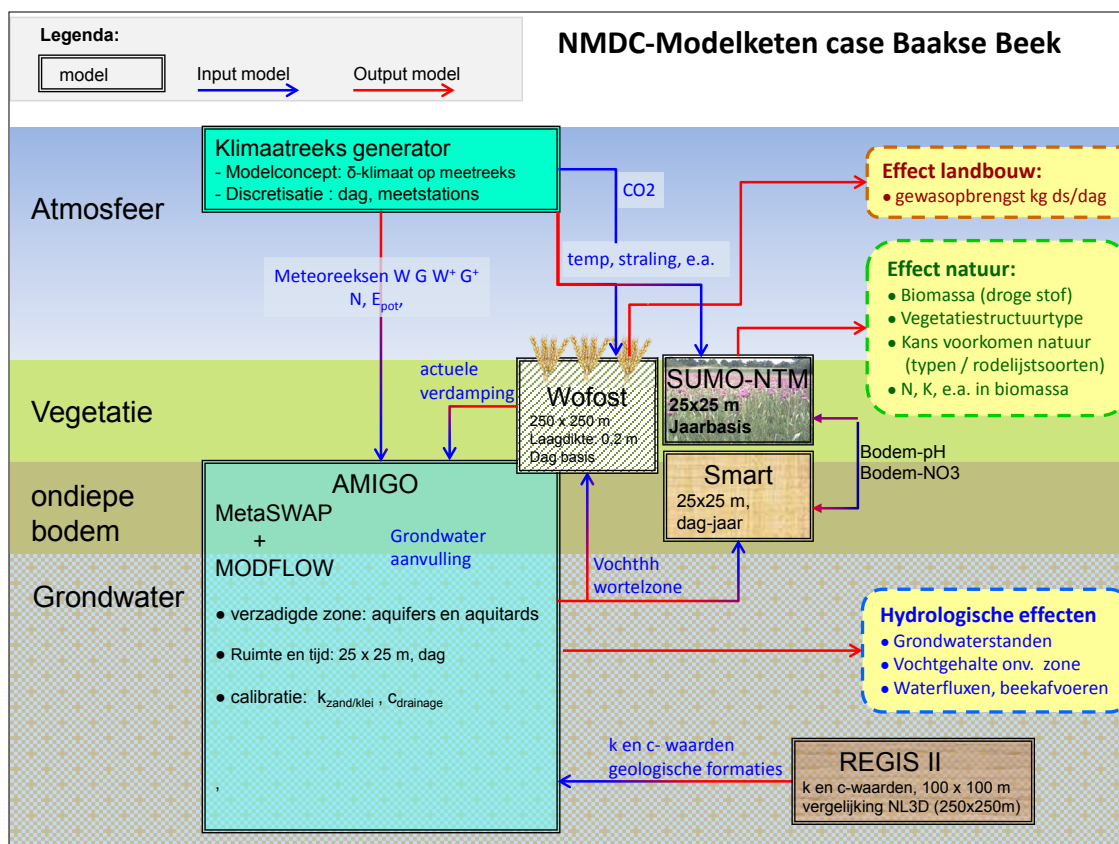
Voor de Walcheren case is het 3D ondergrond model GeoTOP ingezet. Dit model bevat voorspellingen van de opbouw van de bovenste 50 m van de ondergrond, ingedeeld in lithoklassen (grof zand, fijn zand, klei, veen etc.). De ondergrond is hiervoor opgedeeld in blokjes van 100 x 100 x 0.5 m. Op basis van alle DINO-boringen en additionele geologische kennis zijn 50 scenario's berekend die de opbouw van de ondergrond telkens net iets anders beschrijven, maar die wel eenzelfde waarschijnlijkheid hebben. In het ene scenario ligt daardoor bijvoorbeeld klei op een bepaalde locatie, terwijl in het andere scenario op die locatie fijn zand is voorspeld.

Ook is een 'gemiddeld ondergrond model' beschikbaar. In het NMDC- project zijn voor de casestudie Walcheren deze verschillende lithoklassen omgezet naar doorlatendheidswaarden. Deze doorlatendheidsscenario's (met een verticale resolutie van 0.5 m) in het GeoTOP dieptebereik zijn gecombineerd met doorlatendheden uit het REGIS II.1 model voor de dieper gelegen lagen (Vernes et al., 2005). Deze 3D doorlatendheidsvelden zijn vervolgens verschaald naar 50 grondwatermodel-schematisaties voor het Zoet-Zout grondwatermodel. De variatie in de verschillende doorlatendheidsscenario's, afkomstig uit GeoTOP, is daarmee tot uiting gebracht in variatie in kwel/infiltratiesnelheden en zoutvracht (ton per jaar) aan de onderkant van de weerstandbiedende deklaag in het modelgebied. Het NMDC-project heeft naar voren gebracht dat de variatie in zoutvracht gemiddeld over het modelgebied, veroorzaakt door de verschillende GeoTOP doorlatendheidsscenario's zo'n 22% is in een stationair grondwatermodel. Twee transient-berekeningen met twee afzonderlijke GeoTOP-scenario's liet weinig extra variatie zien. Op lokale schaal (perceelsnivo) is echter op basis van de verschillende GeoTOP-scenario's wel veel variatie in zoutvracht te verwachten, omdat de aanwezigheid dan wel afwezigheid van lokale klei of veenlagen sterk invloed kan hebben op de grootte van de kwel flux en daarmee op de zoutvracht.

2.2 Innovaties modelconcepten hoog Nederland (Baakse Beek)

In dit project is een koppeling gelegd tussen regionale klimaatscenario's, het hydrologische model AMIGO, het gewasproductie model WOFOST en het bodem-natuur-effectmodel SMART2-SUMO2-NTM3 (Van Ek et al., 2012).

Figuur 3 geeft een schematisch overzicht van de ontwikkelde modelketen.



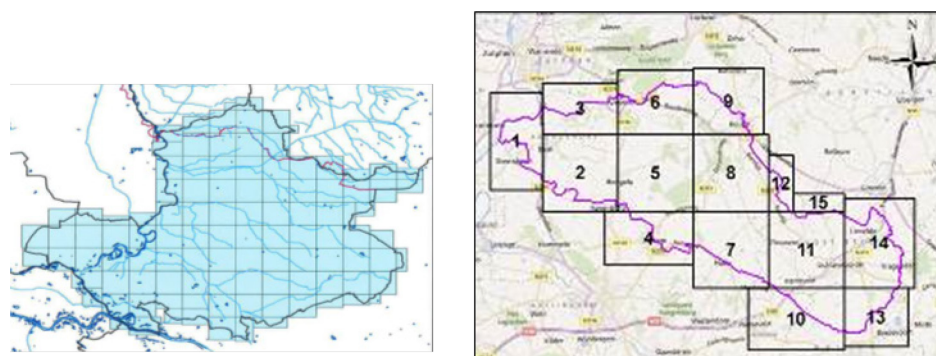
Figuur 3
 Overzicht van de ontwikkelde modelketen voor de case Baakse Beek.

In deze NMDC-studie zijn ook klimaatreeksen opgesteld die beter de regionale verschillen in klimaat binnen Nederland weergeven. Nieuw daarbij is dat de klimaatverandering niet alleen op de individuele meetstationreeksen is gesuperponeerd, maar dat de klimaatveranderingen ruimtelijk (op rasterniveau) zijn gegeneerd. De nieuwe klimaatreeksen vormen invoer voor het hydrologisch model AMIGO waarmee een referentiesituatie is doorgerekend (1981 t/m 2010, dagbasis) en vier klimaatscenario's (G, G+, W, W+ rond 2050). Nieuw is dat de onverzadigde zone module CAPSIM in AMIGO is vervangen door MetaSWAP. MetaSwap is een 'meta'-model van SWAP en is bedoeld voor het vervangen van SWAP bij grootschalig doorrekenen van bodem-plant-atmosfeerkolommen die gekoppeld zijn aan geïntegreerde gebiedsmodellen van grond- en oppervlaktewater (Van Walsum en Veldhuizen, 2011). Met deze nieuwe koppeling is het AMIGO-model opnieuw gekalibreerd. Dit heeft tot een significante modelverbetering geleid, met betere perspectieven voor het uitbreiden van de functionaliteit. Bovendien sluit het modelconcept daarmee beter aan op het NHI, omdat daar ook met MetaSWAP wordt gerekend. Nieuw is dat het gewasproductiemodel WOFOST via MetaSWAP online heeft meegedraaid met de AMIGO-berekeningen waardoor rekening kon worden gehouden met terugkoppelingseffecten tussen vegetatie op de hydrologie onder invloed van verhoogde CO2 en temperatuur. Naast gewasproductie met het model WOFOST is met het model SMART2-SUMO2-NTM3 ook het effect op groeiplaatsomstandigheden (standplaatscondities), biomassa en natuurwaarden bepaald. Veranderingen in vegetatiebeheer en landgebruik zijn niet meegenomen in de klimaatscenario's.

In het navolgende worden de deelmodellen en de innovaties die binnen de modelketen zijn bewerkstelligd besproken.

Geohydrologische modellering met AMIGO

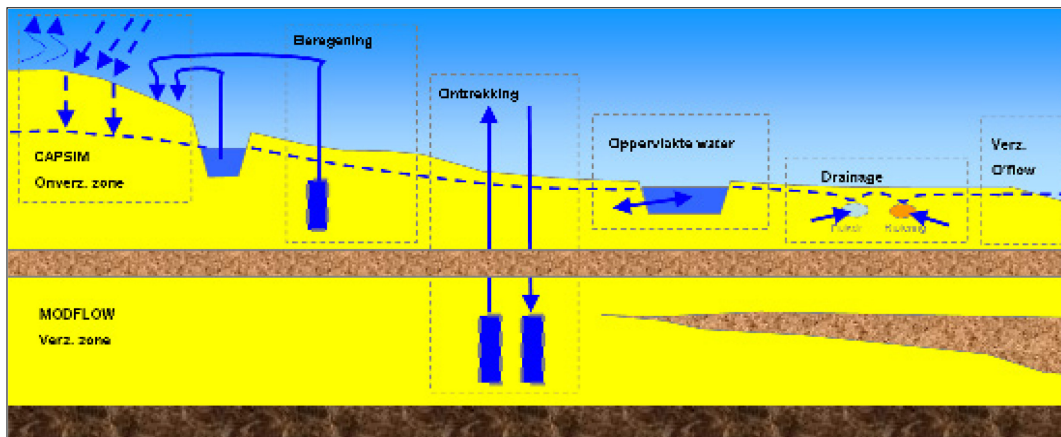
AMIGO (Actueel Model Instrument Gelderland Oost) is ontwikkeld door Deltares/TNO, Alterra, TAUW en Royal Haskoning in opdracht van de provincie Gelderland, Waterschap Rijn en IJssel en Vitens. In 2008 is een eerste versie opgeleverd. Het model beslaat het gebied tussen de IJssel en de Nederlandse grens (de Achterhoek) en is opgebouwd uit 106 deelmodellen. Voor de case Baakse beek zijn vijftien deelmodellen geselecteerd (zie figuur 4).



Figuur 4

Reikwijdte van het AMIGO-model en de berekeningen voor case Baakse beek.

Het AMIGO-model bestaat uit een model voor de verzadigde zone (MODFLOW) dat is gekoppeld met een model voor de onverzadigde zone (voorheen CAPSIM, nu MetaSWAP). De ondergrond-schematisatie is gebaseerd op het hydrogeologisch ondergrondmodel REGIS-II (Vernes en Van Doorn, 2005). Het AMIGO-model onderscheidt voor de hele Achterhoek twaalf watervoerende pakketten en twaalf scheidende lagen. AMIGO bevat geen apart oppervlaktewatermodel (zoals bijvoorbeeld SOBEK). AMIGO heeft een ruimtelijke resolutie van 25x25 m en kan rekenen op dagbasis. De onderstaande figuur 2.4 is een conceptuele weergave van het AMIGO-model.



Figuur 5

Conceptuele weergave van het AMIGO-model. Het model is in staat de grondwaterstroming en de uitwisseling met atmosfeer en oppervlaktewater te simuleren. De gestippelde lijn geeft het grondwaterniveau aan. Het model houdt ook rekening met menselijk ingrijpen zoals drainage en onttrekkingen.

Het model is gekoppeld aan een Graphical User Interface, iMOD en is bedoeld voor onder andere toepassing in het GGOR-proces en ter ondersteuning van beleidsexercities in het waterbeheer. Bij de ontwikkeling is gebruik gemaakt van de ervaring en werkwijze uit vergelijkbare modelprojecten als MIPWA (Noord-Nederland) en IBRAHYM (Limburg). De eerste versie van het model is verbeterd (gekalibreerd) aan de hand van gemeten grondwaterstanden en stijghoogten middels stationaire en niet-stationaire ijking. Na 2008 is het model door gebruik in de regio op enkele punten verbeterd. Dit gaat vooral om een betere invoer van de detailontwatering (hoogte drainagebasis waterlopen, aan-/afwezigheid sloten en andere drainage in natuurgebieden). Binnen dit project is AMIGO verder verbeterd door het vervangen van de onverzadigde zone module CAPSIM door MetaSWAP, herkalibratie en door een online koppeling met het gewasproductiemodel WOFOST. MetaSWAP wordt zoals aangegeven ook gebruikt in het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium. Het rekt veel sneller dan SWAP omdat het een metamodel is waarin de 'zoek-tabellen' zijn afgeleid van SWAP-berekeningen. In MetaSWAP kan zoals hier is gedaan de referentieverdamping worden gebaseerd op de Penman-Monteith methode, in plaats van Makkink, hetgeen bij koppeling aan het gewasgroeimodel WOFOST conceptueel een verbetering is bij het doorrekenen van klimaatscenario's.

Gewasopbrengst modellering met METASWAP-WOFOST

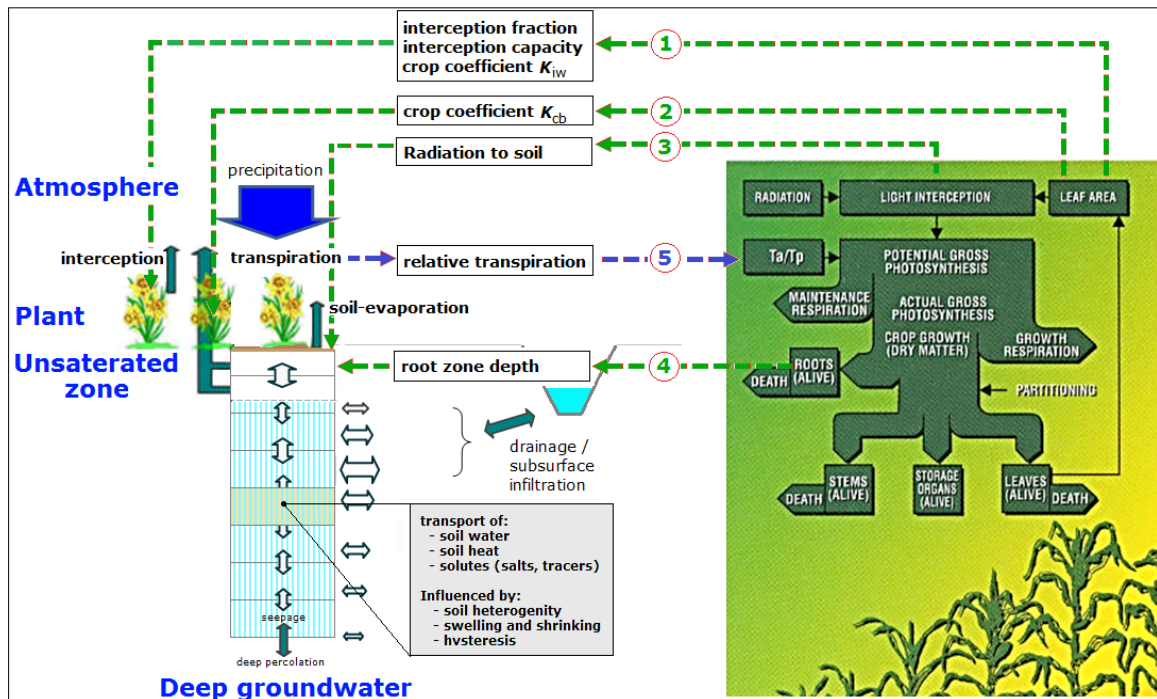
Voor deze case is WOFOST gekoppeld aan MetaSWAP in het kader van een KennisBasis-project⁴. Hiermee wordt rekening gehouden met terugkoppelingseffecten die gewasgroei heeft op de verdamping en capillaire nalevering van grondwater en de invloed die veranderingen van temperatuur en CO₂ in het toekomstige klimaat hebben op de gewasgroei. In principe verbetert met deze koppeling de kwaliteit van de voorspelling van de effecten van klimaatverandering op gewasopbrengsten.

Net zoals voor Walcheren berekent het modelconcept met de meteorologische gegevens een potentiële en een door water gelimiteerde gewasopbrengst. De potentiële opbrengst wordt bepaald door temperatuur en straling, voor de water-gelimeerde opbrengst is ook de waterbeschikbaarheid bepalend. Omdat het weer jaarlijks varieert, geldt dat ook voor de gewasopbrengst. De actuele opbrengst is meestal lager dan de water-gelimeerde opbrengst, omdat daarbij ook de effecten van ziekten en plagen en management meespelen.

⁴ KB-project 'Modelinfrastructuur, deel hydrologie: feedbacks tussen klimaat, vegetatie, bodem en grondwater' (<http://www.kennisonline.wur.nl/Project/project-baps-24842>) dat gefinancierd is door het ministerie van EZ

Modelkoppeling MODFLOW-METASWAP-WOFOST

In de casestudie Baakse Beek is een koppeling gerealiseerd tussen MetaSWAP en WOFOST. Deze koppeling is schematisch weergegeven in figuur 6.



Figuur 6

Koppeling tussen WOFOST en MetaSWAP (uit: Van Walsum en Supit, 2012).

De essentie van deze koppeling is dat er een dynamische relatie is aangebracht tussen gewasverdamping, capillaire nalevering en gewasgroei. Ook wordt in het hydrologische model de diepte van de wortelzone niet statisch opgelegd maar aangepast aan de met WOFOST berekende groei van de wortels (nummer 4 in figuur 2.5). Dit geeft een betere beschrijving van de hoeveelheid vocht die in de wortelzone geborgen wordt en de capillaire nalevering. De deelmodellen MetaSwap en WOFOST wisselen in de koppeling de uitkomsten van de terugkoppelingen (1-5) op dagbasis aan elkaar uit. De modellering van de gewasgroei is door de koppeling met MetaSWAP volledig geïntegreerd in de modellering van het grondwater en de vochthuishouding in de onverzadigde zone.

Binnen het NMDC-project is globaal gekeken hoe de berekende opbrengsten zich verhouden tot beschikbare gegevens over gerealiseerde opbrengsten.

Modelkoppeling AMIGO-SMART2-SUMO2-NTM3

SMART2-SUMO2-NTM3 is een model dat door Wageningen UR is ontwikkeld om de ontwikkeling van terrestrische natuur te simuleren. Een vergelijkbare koppeling, maar dan met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, is eerder toegepast voor het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (Wamelink et al., 2011). Nieuw is dat binnen de case Baakse beek gerekend is met een ruimtelijke resolutie van 25 x 25 m in plaats van 250 x 250 m.

SMART2-SUMO2 berekent op regionale en nationale schaal de langjarige effecten van o.a. atmosferische depositie en beheersmaatregelen op de bodem en vegetatie. SMART2 is de bodemmodule en SUMO2 de vegetatiemodule, die volledig zijn geïntegreerd door terugkoppeling op jaarbasis. Het SMART2-model bestaat

uit een set van massabalansvergelijkingen, die de input-output relaties beschrijven van een bodemcompartiment, en een set van vergelijkingen voor de beschrijving van snelheids- en evenwichtsprocessen in de bodem. SUMO2 (Wamelink et al., 2000; Wamelink et al. 2009 a,b) is een subroutine van SMART2 bedoeld om:

- de vegetatieontwikkeling, vooral successie en daarmee samenhangende processen te kunnen simuleren,
- modellering van de invloed van vegetatiebeheer mogelijk te maken en
- terugkoppeling van de vegetatieontwikkeling naar de bodem mogelijk te maken.

De drijvende kracht in SUMO is de ontwikkeling van biomassa. Biomassagroei wordt gesimuleerd op basis van stikstofbeschikbaarheid, lichtbeschikbaarheid, grondwaterstand en beheer. In SUMO beconcurreren vijf functionele typen elkaar om nutriënten en licht. Recent is het effect van de klimaat gerelateerde factoren temperatuur, kooldioxide concentratie en neerslag ingebouwd (Wamelink et al., 2009). De groei kan worden beperkt door het beheer. Als eindindicator voor de kwaliteit van de vegetatie wordt gebruik gemaakt van het model NTM3 (Wamelink et al., 1998; Wamelink et al., 2003). Dit regressiemodel is gekalibreerd met 160.000 vegetatie-opnamen waarvan per opname de zogenaamde Ellenbergwaarden voor vocht (F), zuurgraad (R) en nutriëntenbeschikbaarheid (N) is berekend. Bij een gegeven F-, R- en N-waarde (uit SMART2) en vegetatiestructuurtype (uit SUMO2) berekent NTM3 een potentiële natuurwaarde, die als maat voor de biodiversiteit wordt gebruikt. Een hoge waarde duidt op een hoge kans om rode lijst soorten aan te treffen, een lage waarde om alleen algemene soorten aan te treffen.

In het NMDC-innovatieproject is voor het eerst gewerkt met een kleine ruimtelijke resolutie van 25 bij 25 m. Voor zinvolle natuureffect voorspelling is het hanteren van een dergelijke ruimtelijke resolutie erg belangrijk, met name omdat standplaatsfactoren voor natte natuur bij een veel grovere resolutie door middeling van maaiveldhoogten, grondwaterstanden e.d. niet goed of niet discreet in de ruimte tot uitdrukking komen.

De modelkoppelingen zijn gerealiseerd, maar werken nog niet eenvoudig. Er moeten nu aparte programma's gedraaid worden om de uitvoer van het hydrologische model AMIGO om te zetten naar invoer voor SMART2-SUMO2, waarbij het belangrijk is dat met AMIGO de juiste output wordt geproduceerd. De diverse basiskaarten die voor de input nodig zijn, moeten worden vergrid. De tools voor dit vergriden moesten worden aangepast voor de fijnere resolutie. De inzet van NTM3 vraagt nog om extra bewerking.

De modelkoppeling is nu ook een koppeling achteraf, dit wil zeggen dat er geen terugkoppeling is tussen vegetatiegroei en hydrologie. Het effect daarvan kan groot zijn, bijvoorbeeld als door vochtgebrek de vegetatie minder groeit. Het is wenselijk deze terugkoppeling in te bouwen, waarbij de inspanning wel in verhouding moet zijn tot de beoogde meerwaarde. Dit vraagt om een nadere analyse naar de invloed van die terugkoppeling tussen vegetatie en hydrologie voor verschillende situaties en verschillende typen vegetaties.

Tot nu toe zijn validatiestudies uitgevoerd met SMART2-SUMO2-NTM3, veelal op droge ecosystemen en met een eenvoudige hydrologie. Binnen deze studie is een beperkte vergelijking gemaakt tussen modeluitkomsten (potentiële natuurwaarden) van AMIGO-SMART2-SUMO2-NTM3 en natuurwaarden die bepaald zijn met DEMNAT op basis van veldgegevens uit FLORBASE. Deze vergelijking liet een significante relatie zien tussen de uitkomsten van beide benaderingen met een verklaarde variantie van 20%. De vergelijking heeft echter beperkingen en het is daarom aan te raden een nadere studie uit te voeren naar de validiteit en bruikbaarheid van dit instrumentarium in relatie tot belangrijke vragen over de houdbaarheid van natuurdoelen in grondwaterafhankelijke systemen. Hierbij zou gebruik gemaakt kunnen worden van vegetatie-opnamen, het liefst gecombineerd met bodemmetingen.

Als AMIGO ingezet wordt voor ecohydrologische voorspellingen, dan zijn aanvullende acties nodig gericht op modellering van kwel in de wortelzone en modellering van overstroming (koppeling met oppervlaktewater). Deze acties worden opgepakt binnen Kennis voor Klimaat (CARE wp 2.3) voor de Tungelroyse beek en zouden

op termijn ook geïmplementeerd kunnen worden in AMIGO. Doordat CAPSIM is vervangen door MetaSWAP is dit ook goed mogelijk.

2.3 Visualisaties

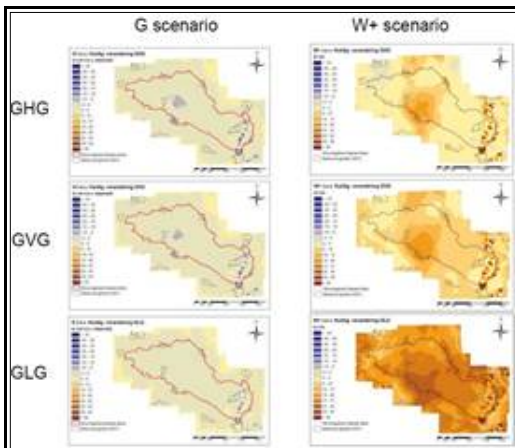
De stakeholders van de Baakse beek zien twee water gerelateerde problemen die de landbouw en de natuur in dat gebied parten speelt: zoetwatertekort en wateroverlast c.q. natschade. Door klimaatverandering kan de mate van voorkomen van deze problemen in de toekomst veranderen. De toekomst is onzeker. De stakeholders willen achterhalen hoe effectief bepaalde maatregelen zijn om de water-problematiek in de toekomst het hoofd te kunnen (blijven) bieden. Voorbeelden van maatregelen zijn: aanpassingen in het waterbeheer (verondiepen watergangen, peilopzet, andere aanvoer), aanpassingen van de agrarische bedrijfsvoering (bijvoorbeeld andere gewassen) en detailontwatering percelen (peilgestuurde drainage, druppel-irrigatie en anticiperen in de ruimtelijke ordening (sturen op ander landgebruik, optimalisatie functies voor het toekomstige grond- en oppervlaktewater-regiem) en reallocatie functies). De stakeholders willen weten wat het effect is van de klimaatverandering op de hydrologie, landbouw (gewasopbrengsten) en terrestrische natuur en wat de effecten zijn van genoemde maatregelen. Ook willen zij weten hoe on-/zeker de prognoses voor de effecten op de hydrologie, natuur en landbouw zijn.

Indicatoren die met de opgezette modelketen voor klimaatverandering en de effecten van maatregelen kunnen worden berekend zijn grondwaterstanden (bijvoorbeeld uitgedrukt in GHG, GLG, GVG), kwelfluxen, potentiële en water-gelimiteerde gewasopbrengsten (in kg/ha en relatief ten opzichte van potentieel) en voor natuur de kans dat de natuurdoelen worden gerealiseerd.

Modellen genereren veel data die omgezet kunnen worden in informatie door deze op, voor de stakeholder, relevante manier te visualiseren. Dat kan in velerlei vormen, waaronder: tabellen met indicator-waarden, kaarten van indicatorwaarden, kans/risicokaarten voor overstromingen, of inundatie per gewas, filmpjes om het tijdaspect van een veranderend fenomeen te benadrukken, fact sheets met daarop aannames van scenario's en/of modellen, fact sheets die de gemodelleerde causale relaties op hoofdlijn verklaren, grafieken, interactieve 3D animaties, enz. De samenstelling van stakeholders en hun vragen zijn divers; de vorm van informatie visualisatie dus ook.

Tijdens een workshop zijn de modelresultaten gepresenteerd aan de stakeholders. Hierbij is informatie overgedragen en discussies daarover ondersteund met behulp van presentaties in Powerpoint. In deze presentaties zijn diverse visualisaties opgenomen. Een indruk daarvan is weergegeven in figuur 7.

In deze presentaties zijn resultaten van de kalibratie en gevoeligheidsanalyse van de deelmodellen weergegeven in grafieken en tabellen. De ruimtelijke patronen van de langjarig gemiddelde resultaten van de modellering van de huidige situatie en klimaatscenario's zijn absoluut en relatief (ten opzichte van de huidige situatie en voor landbouw ten opzichte van potentiële gewasopbrengsten) weergegeven.



a) Grondwaterstanden G en W+ scenario berekend met het verbeterde AMIGO model (presentatie Remco van Ek, Deltares)

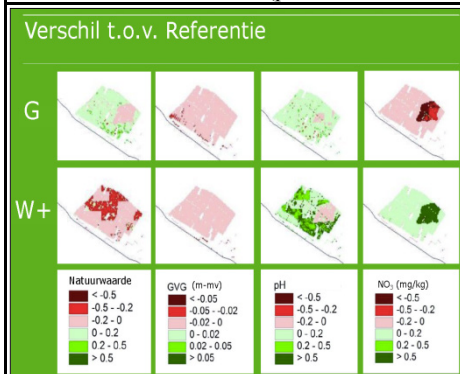
5. Gevoeligheidsanalyse

Welke "knoppen" onzeker? Is relevante modeluitvoer daarvoor gevoelig?

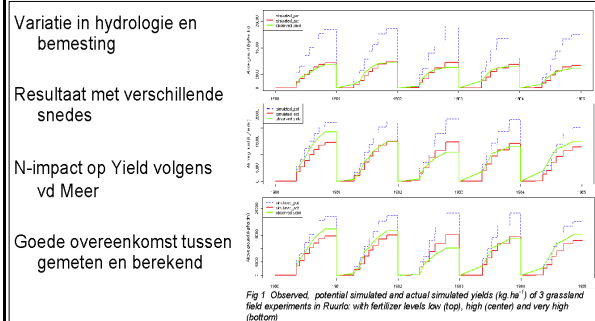
nr		GHG (m-nv)	GVG (m-nv)	GLG (m-nv)	Verticale Flux ¹ (mm)	Vochtekort Wortelzone ² (mm)
1	Gewasfactoren <i>min/max</i>	1.00/1.02	1.21/1.24	1.83/1.87	-4.29/-3.99	73/76
2	CO2 effect transpiratie <i>met/zonder</i>	1.00/1.01	1.22/1.23	1.83/1.86	-4.27/-4.13	75/75
3	Makkink ipv P-M <i>Makkink/PM</i>	0.97/1.01	1.19/1.23	1.81/1.86	-4.32/-4.13	72/75
4	Bodemkaart <i>Grof/Rijn</i>	1.30/1.30	1.51/1.51	2.09/2.09	-2.40/-2.41	68/69
5	Intreeweerstand <i>Min/max</i>	1.13/0.84	1.33/1.09	1.88/1.81	-3.32/-5.00	77/71
6	Vegetatiebedekking <i>Bos/kaal</i>	1.01/0.97	1.23/1.18	1.86/1.79	-4.13/-4.53	75/64

1) Gemiddeld totaal over het groeiseizoen 2) Gemiddeld over het groeiseizoen

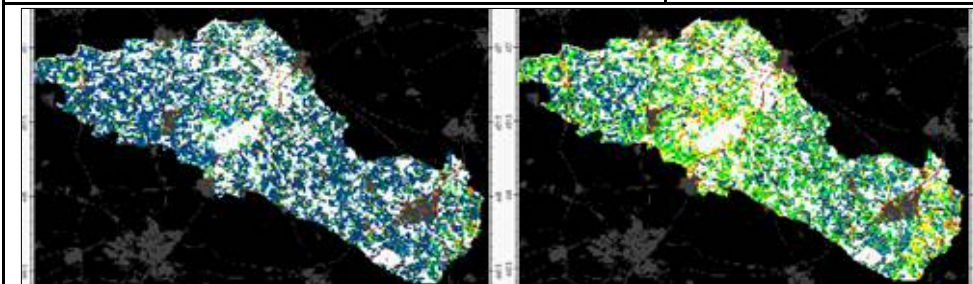
b) Resultaten gevoeligheidsanalyse hydrologische modellering (presentatie Remco van Ek, Deltares)



c) Natuurwaarden t.o.v. referentie in bij 2 klimaat scenario's (Presentatie Janet Mol, Alterra)



d) Vergelijking berekende en gemeten opbrengst 3 graslandpercelen (presentatie Joop Kroes, Alterra)



d) Indicator 'Relatieve opbrengst landbouw-gras', Huidig versus W+ scenario (presentatie Joop Kroes)

Figuur 7

Voorbeelden van gebruikte visualisaties tijdens de stakeholder workshop 'Baakse Beek'.

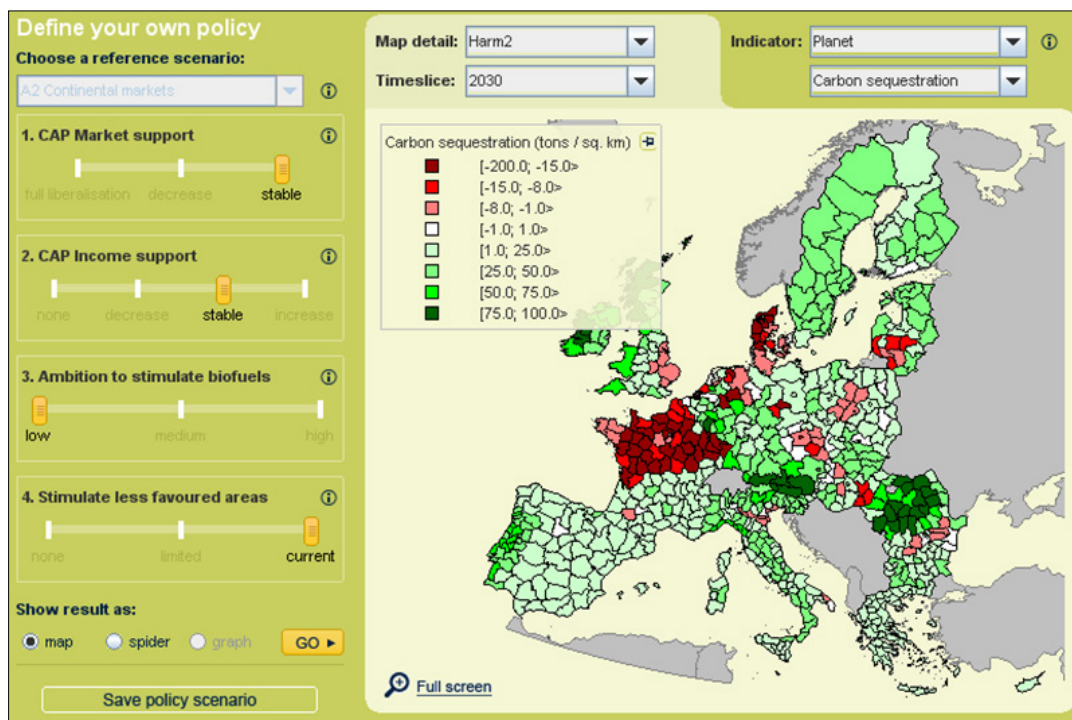
Mogelijke innovatieve visualisaties

Omdat de visualisaties waren vastgelegd in Microsoft Powerpoint, was het niet mogelijk om in-situ nieuwe visualisaties te maken voor opkomende vragen tijdens de workshop. Als de modelresultaten meer uitgekristalliseerd zijn en diverse beleidsopties met de modelketen zijn doorgerekend, zouden visualisaties zo opgezet kunnen worden dat ter plekke visualisaties kunnen worden gegenereerd die inspelen op vragen van stakeholders die de vragen op dat moment stellen. Zo'n interactieve visualisatie kan op de volgende twee manieren worden opgezet:

- 1) Voorrekenen van een breed scala aan scenario's en de resultaten in een database plaatsen. In situ de database bevragen en visualisaties generen. Resultaten van andere studies kunnen ook in de database geplaatst worden zodat ook tegen deze resultaten vergeleken kan worden. Verschilkaarten kunnen worden bepaald, aggregaties worden gemaakt (bijvoorbeeld per land eigenaar, of een andere

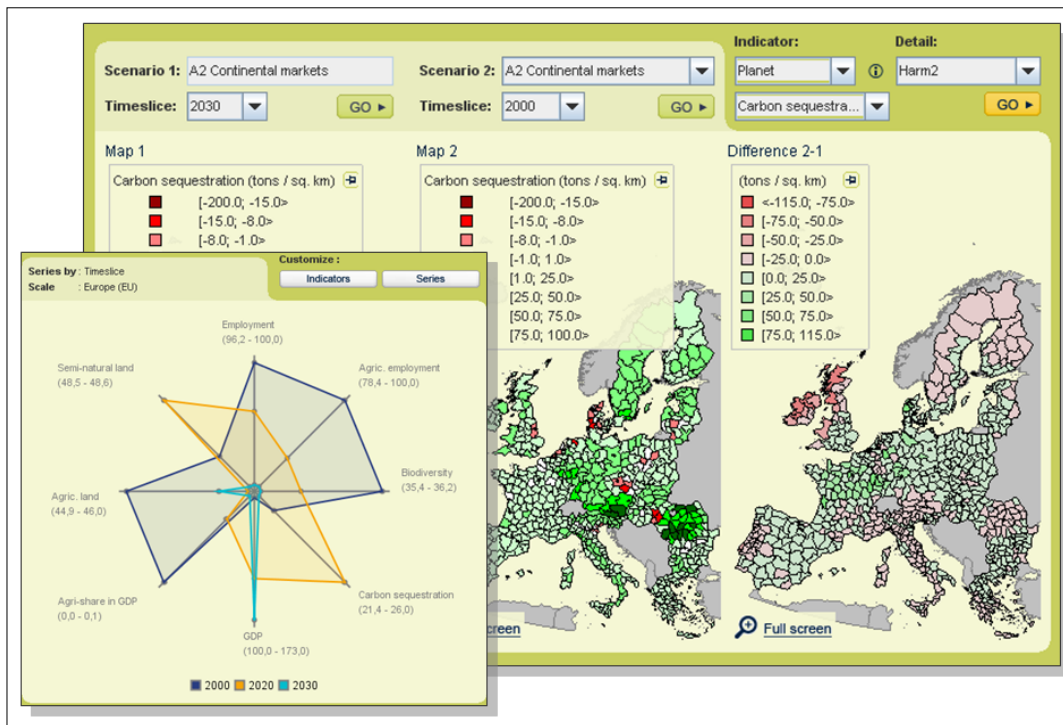
administratieve eenheid) en uitgezet in staafdiagrammen of tabellen, of de indicatoren aggregeren voor het gehele gebied en uitzetten in een radargrafiek. Zie figuur 8 en 9 voor voorbeelden van dit type presentaties.

- 2) Met toevoeging van de mogelijkheid om nieuwe data te genereren op basis van in de database beschikbare gegevens en expert kennis van de aanwezige workshop-deelnemers. Dit type workshops richt zich niet alleen op de deelnemers met een achtergrond, of interesse in (kwantitatief) modelleren, maar maakt ook gebruik van de lokale expert- en kwalitatieve kennis. De expertkennis van de deelnemers kan gevat worden in kennisregels die in situ worden toegepast op de beschikbare data. Idealiter bevat de database niet alleen gegevens van deze studie, maar ook vergelijkbare studies en andere achtergrond informatie (bijvoorbeeld verschillende landgebruikkaarten of kaarten van sociaal economische studies), zodat deze ook kunnen worden ingezet bij de toepassing van de kennisregels. Zo kan men bijvoorbeeld kennisregels definiëren om de natuurwaarden, de bereikbaarheid of geschiktheid voor weidebouw te bepalen. Zie figuur 10 voor een voorbeeld van een kennisregel.



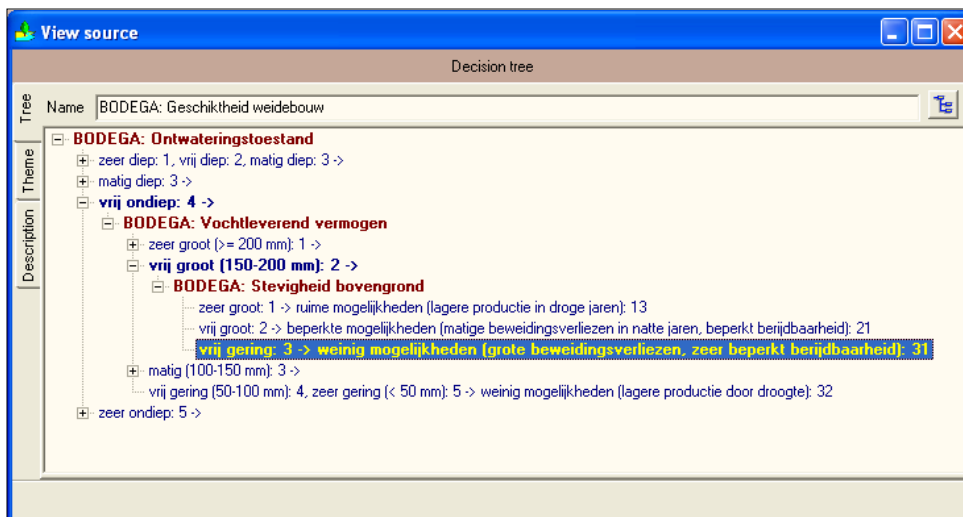
Figuur 8

Schermafdruck van EURURALIS ter illustratie van indicator kaart selectie. In de linker kolom is een scenario en maatregelpakket in te stellen. De kaartjes behorende bij het scenario en maatregelpakket zijn te selecteren op basis van indicator, tijd horizon en aggregatie niveau.



Figuur 9

Schermafdruk van EURURALIS ter illustratie van verschilkaart en radardiagram. Het hoofdscherm toont drie kolommen: kaart 1, kaart 2 en een verschilkaart. De kaartbeelden zijn aan elkaar gekoppeld. Bij zoomen in een kaart volgen de andere kaartbeelden. Bij het bewegen van de cursor over een kaart volgt de cursor op de andere kaarten. Het radardiagram toont meerdere indicatoren waarden voor een ruimtelijke eenheid. Dat kan een gridcel zijn, maar ook een administratieve eenheid.



Figuur 10

Schermafdruk van BODEGA ter illustratie van een 'decision tree' kennisregel. Deze regel beschrijft de geschiktheid voor weidebouw: als de ontwateringstoestand vrij ondiep is, en het vochtleverend vermogen vrij groot, en de stevigheid van de bovengrond vrij gering, dan zijn er weinig mogelijkheden voor weidebouw.

3 Koppelingen modelketens

3.1 Inleiding

In de modellenketens van de Baakse Beek en Walcheren zijn diverse koppelingen tussen de modellen gerealiseerd. De vraag is of de modellen wel goed aan elkaar zijn gekoppeld, of hierbij rekening wordt gehouden met terugkoppelingen zoals bijvoorbeeld gewasgroei en verdamping en of de informatie tussen de modellen goed wordt uitgewisseld zonder (extra) foutenmarges te introduceren.

In het navolgende worden de koppelingen van de modelketens behandeld. Met de opgedane ervaringen worden daarbij aanbevelingen geformuleerd hoe koppelingen verder kunnen worden verbeterd en ontwikkeld.

3.2 Koppelingen modelketen Walcheren

In de modelketen van Walcheren zijn de volgende koppelingen gerealiseerd:

1. koppeling GeoTOP en Zoet-Zout grondwatermodel
2. koppeling Zoet-Zout grondwatermodel en SWAP
3. koppeling SWAP-WOFOST

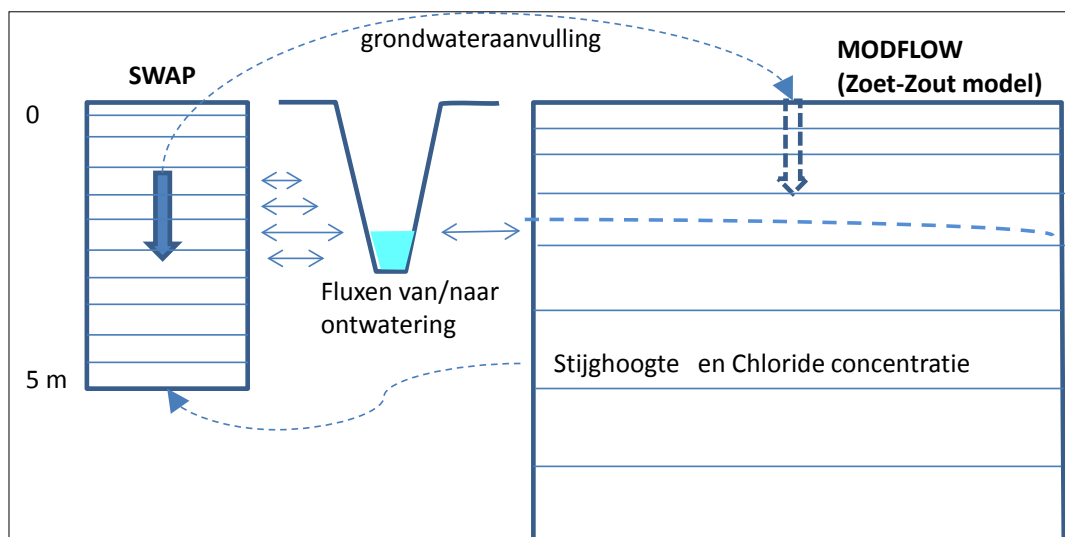
ad 1 Koppeling Zoet-Zout grondwatermodel en SWAP

Het Zoet-Zout grondwatermodel berekent met tijdstappen van één jaar de grondwaterstijghoogten⁵ in de verzadigde zone (deklaag en watervoerende lagen) en de chloridegehalten op de verschillende diepteniveaus. Ook berekent het model de grondwaterstroming en de kwel- en infiltratiefluxen naar maaiveld en de ontwateringsmiddelen (dus drainage en afwaterende sloten of rivieren). Als het Zoet-Zout grondwatermodel niet aan SWAP is gekoppeld wordt de grondwateraanvulling berekend uit de neerslag en de referentiegewasverdamping.

SWAP berekent de vocht- en chloride-huishouding in het ondiepe bodemprofiel. Als bovenrandvoorwaarde wordt gerekend met de neerslag en referentiegewasverdamping. Als onderrandvoorwaarde wordt gerekend met een vaste stijghoogte of flux en bijbehorende chloridegehalten.

Als beide modellen aan elkaar worden gekoppeld, geeft het Zoet-Zout grondwatermodel informatie over de stijghoogte en het chloridegehalte door aan SWAP die deze waarden invoert als onderrandvoorwaarden. SWAP geeft informatie over de grondwateraanvulling door aan het Zoet-Zout grondwatermodel. De koppeling is schematisch weergegeven in figuur 11.

⁵ In werkelijkheid is het een zoetwaterstijghoogte omdat we met zoet-zout grondwater rekenen (Oude Essink, 2001).



Figuur 11

Schematische weergave koppeling zoet-zout grondwatermodel en SWAP.

De aandachtspunten voor deze model koppeling zijn vooral:

- De te kiezen diepte van het SWAP-bodemprofiel. Gekozen is voor een diepte van 5 m (0 tot 5 m-mv). Als deze enkele meters dieper wordt gekozen, wordt niet goed rekening gehouden met de laterale stroming die in de verzadigde zone een belangrijke rol speelt. Ook wordt dan geen rekening gehouden met het transport van chloride door dichtheidsverschillen. Hier houdt het Zoet-Zout grondwatermodel wel rekening mee. Als het bodemprofiel veel ondieper wordt gekozen, ontstaan modelmatig problemen als de grondwaterstand uitzakt tot dieper dan het gekozen profiel.
- De temporele verschaling tussen beide modellen; het Zoet-Zout grondwatermodel rekent op jaarbasis, SWAP op dagbasis. In de case zijn langjarige scenario's doorgerekend met 1981 - 2010 als referentie en 2011 - 2065 voor de klimaatscenario's. Omdat de modellen de output van elkaar als randvoorwaarde invoeren, zou idealiter deze informatie op jaarbasis moeten worden uitgewisseld. Het Zoet-Zout grondwatermodel rekent dan met een jaargemiddelde grondwateraanvulling die door SWAP wordt aangeleverd en berekent daarmee de stijghoogten en chloridegehalten vanaf de grondwaterspiegel tot aan de geohydrologische basis. SWAP rekent daarop met de stijghoogte en chloridegehalten op 5 m diepte, voert deze in als onderrandvoorwaarde en berekent daarmee een nieuwe grondwateraanvulling op het niveau van de grondwaterspiegel. Vanuit pragmatisch oogpunt is deze informatie van het Zoet-Zout grondwatermodel niet jaarlijks maar over de 30-jarige perioden met SWAP uitgewisseld. Er worden nog verkennende berekeningen uitgevoerd om uit te zoeken wat de meerwaarde is als jaarlijks de informatie tussen beide modellen wordt uitgewisseld.
- De ruimtelijke verschaling tussen beide modellen; het Zoet-Zout grondwatermodel rekent met een ruimtelijke resolutie van 100 x 100 m, terwijl SWAP omwille van de koppeling met WOFOST rekent met 250 x 250 m. De output van het Zoet-Zout grondwatermodel wordt daarmee opgeschaald naar 250 x 250 m. Dit levert in principe geen extra onnauwkeurigheid in de modellering met SWAP. Omgekeerd wordt de output van SWAP neergeschaald van 250 x 250 naar 100 x 100 m. Het Zoet-Zout grondwatermodel rekent daarmee voor de grondwateraanvulling met een grovere resolutie dan wanneer zonder koppeling wordt gerekend.
- Beide modellen rekenen met de hydrologische eigenschappen van het ondiepe bodemprofiel en de eigenschappen die de fluxen naar de ontwateringsmiddelen bepalen (infiltratie- en drainageweerstanden). Idealiter wordt hiervoor identieke informatie gebruikt. In de huidige praktijk is dat niet helemaal het geval omdat nog niet alles via het NHI loopt. SWAP gebruikt naast NHI-gegevens hiervoor deels nog informatie van het landelijke STONE instrumentarium, terwijl het Zoet-Zout grondwatermodel qua doorlatendheden gedetailleerdere informatie gebruikt dan het NHI; in de case is bovendien in het Zoet-Zout grondwatermodel

gerekend met realisaties van GeoTOP, terwijl in SWAP steeds dezelfde bodemeigenschappen zijn aangehouden.

Het verdient de aanbeveling om voor het gebruik van de ontwikkelde modelketen te verkennen in hoeverre bovenstaande kritische zones van invloed zijn op de hydrologie en gewasopbrengsten.

ad 2 Koppeling SWAP-WOFOST

Deze koppeling heeft betrekking op de verdampingstermen (transpiratie, interceptie verdamping, verdamping kale bodem) en de capillaire nalevering van water en zout naar de wortelzone van gewassen. Door de koppeling, wordt voor de gewasgroei rekening gehouden met het feit dat niet altijd voldoende water beschikbaar is voor optimale groei, gegeven de toestand van het gewas, de straling, temperatuur en CO₂-gehalte in de atmosfeer. Ook wordt er rekening mee gehouden dat de groei belemmerd kan worden door te hoge zoutgehalten in het bodemvocht. Als geen optimale groei kan plaatsvinden (door watertekort en/of zoutgehalte), is de evapotranspiratie kleiner dan de potentiële (bij optimale groei) evapotranspiratie. De koppeling tussen SWAP en WOFOST is weliswaar technisch gerealiseerd, maar het gekoppelde model (SWAP-WOFOST) is onder Nederlandse omstandigheden nog maar zeer beperkt getoetst. Dit dient eerst verder te worden getest, getoetst en gepubliceerd voordat schadeberekeningen verantwoord kunnen worden uitgevoerd. Deze validatie is op dit moment de belangrijkste kritische zone in de modelkoppeling. Een complicerende factor in de toetsing van het model is dat gewasgroei niet alleen door water en zout wordt beperkt, maar ook door het optreden van ziekten en plagen die niet in het modelconcept van WOFOST zijn ondervangen. Als berekende opbrengsten worden vergeleken met gemeten opbrengsten, moet daarom aandacht worden besteed aan geleden derving van gewasopbrengsten door ziekten en plagen.

Een ander belangrijk aandachtspunt voor de kritische zone is de manier (in feite het modelconcept) waarop nu de reductie van de transpiratie wordt berekend als sprake is van zeer natte omstandigheden. Het lijkt voor de hand te liggen om het modelconcept dat nu op Feddes is gebaseerd, te vervangen door een modelconcept dat uitgaat van zuurstofstress⁶.

ad 3 Koppeling GeoTOP en het Zoet-Zout grondwatermodel

Met GeoTOP worden zeer veel realisaties berekend voor de 3D verdeling van de doorlatendheden van de ondergrond tot 50 m-mv. In de casestudie zijn nu alleen de uitersten (minimum en maximum doorlatendheden) van deze realisaties met het Zoet-Zout grondwatermodel doorgerekend. Zowel GeoTOP als het Zoet-Zout grondwatermodel rekenen met een resolutie van 100 x 100 m, zodat hier geen verlies aan informatie optreedt. Wel wordt met GeoTOP een fijnere (meer gedetailleerde) verticale resolutie aangehouden, namelijk laagdiktes van 0,5 m. In het Zoet-Zout grondwatermodel worden bovenin het bodemprofiel ook vergelijkbare laagdiktes aangehouden, maar deze nemen omwille van de hanteerbaarheid en rekkentijden van het model toe met de diepte tot meerdere meters. Het verscalen voor de verschillen in verticale resolutie is een belangrijk aandachtspunt in de koppeling.

3.3 Koppelingen modelketen Baakse Beek

In de modelketen van de Baakse Beek zijn de volgende koppelingen gerealiseerd:

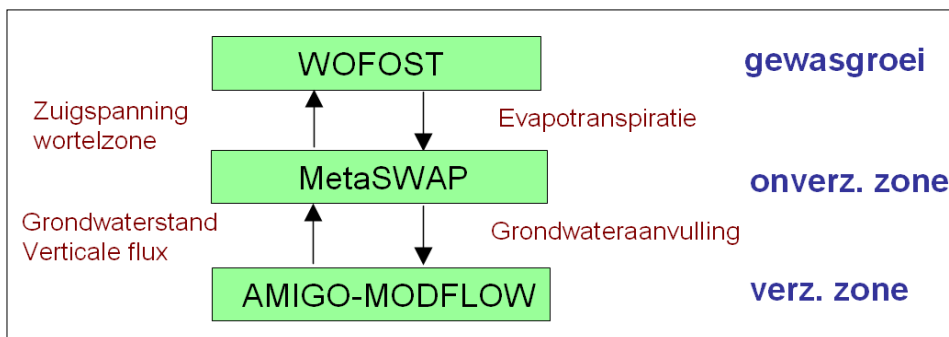
1. koppeling MetaSWAP en WOFOST aan AMIGO
2. koppeling SMART2SUMO2-NTM3 aan AMIGO

⁶ Bartholomeus, R.P., J.P.M. Witte, P.M. Van Bodegom, J.C. van Dam en R. Aerts, 2008. Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: substituting the Feddes-function by a process-based model. *J. Hydrol*, 360: 147-165.

Daarnaast is veel tijd gaan zitten in de pre- en post processing, vooral omdat door de (zeer) fijne ruimtelijke resolutie (zeer) veel data uit het modelinstrumentarium moesten worden verwerkt.

ad 1 Koppeling MetaSWAP en WOFOST aan AMIGO

Voor het NMDC-innovatie project bestond AMIGO uit het grondwatermodel MODFLOW voor de simulatie van grondwater in de verzadigde zone en het hydrologisch model CAPSIM voor de onverzadigde zone. In de casestudie is CAPSIM vervangen door MetaSWAP. MetaSWAP berekent de grondwateraanvulling die als bovenrandvoorwaarde wordt ingevoerd in MODFLOW, terwijl MODFLOW de grondwaterstand en kwel/wegzijgingsflux berekent die als onderrandvoorwaarde wordt ingevoerd in MetaSWAP. WOFOST berekent de gewasgroei onder invloed van straling, CO₂-gehalte, temperatuur en vochtgehalten in de wortelzone. Ook wordt hierbij de diepte van de beworteling berekend. De gewasgroei wordt in de vorm van Leaf Area Index (LAI) doorgegeven aan MetaSWAP, die de evapotranspiratie vervolgens afhankelijk stelt van deze LAI. De capillaire nalevering door zuigspanning in de wortelzone wordt in MetaSWAP afhankelijk gesteld van de met WOFOST berekende diepte van de wortels. Deze koppelingen zijn schematisch weergegeven in figuur 12.



Figuur 12

Uitwisseling van informatie tussen het verzadigde zone model MODFLOW, onverzadigde zone model MetaSWAP en het gewasproductiemodel WOFOST.

De koppelingen tussen MODFLOW-MetaSWAP-WOFOST zijn volledig geïntegreerd in het rekenproces; de gekoppelde modellen wisselen geautomatiseerd informatie aan elkaar uit in iedere rekenstap of tijdstap. Er zijn ook geen verschalings, omdat ieder model in de keten met dezelfde ruimtelijke en temporele resolutie rekent. Voor de koppelingen met WOFOST gelden dezelfde (kritische) aandachtspunten als in de modelketen van Walcheren. Een verschil hiermee is wel dat in MetaSWAP-WOFOST geen invloed van zout wordt meegenomen.

Een belangrijke stap voorwaarts die binnen dit project gezet is, is het mogelijk maken van de MetaSWAP-uitvoer in het zogenaamde IDF-formaat. Dit formaat is de standaard binnen de iMOD-omgeving en wordt bij Deltares gebruikt voor het opslaan en visualiseren van Modflow in- en uitvoer. IDF's zijn in feite niets anders dan binaire ascii-gridbestanden. Dat nu ook de MetaSWAP uitvoer in dit formaat beschikbaar is vergemakkelijkt de visualisatie, verificatie en postprocessing van de modelresultaten. Een nog grotere, nog te zetten, stap voorwaarts zou zijn als ook zoveel mogelijk MetaSWAP invoer in IDF-formaat aan de modelcode aangeboden zou kunnen worden. Dat maakt visualisatie van de invoer gemakkelijker en doordat vertaalslagen tussen de SVAT-units van MetaSWAP en de gridcellen van Modflow overbodig worden, de modelopzet minder foutgevoelig.

Zoals gezegd is het stroomgebied van de Baakse Beek voor de modellering onderverdeeld in vijftien deelmodellen. Dit was noodzakelijk omdat het gehele model niet op de gebruikte rekenresolutie (te weten 25x25 meter) gedraaid kan worden, zowel qua geheugengebruik als de doorlooptijd van de berekening. De vijftien deelmodellen kunnen parallel (tegelijkertijd) gedraaid worden, zodat er een enorme winst qua

rekentijden geboekt werd. Desondanks bleven de rekentijden fors, het grootste deelmodel (dat de beperkende factor is) kende een rekentijd van 3,5 dag om de gehele 30-jarige klimaatreeks te simuleren.

De vijftien deelmodellen konden niet op dezelfde rekenserver gedraaid worden. Zij moesten over twee rekenservers verdeeld worden. Dit had veel nabewerkingstijd tot gevolg, omdat de modelresultaten uiteindelijk toch weer op een centrale plek samengevoegd moesten worden. Voor een volgende, soortgelijke modellering is dan ook de aanbeveling ervoor te zorgen dat het projectteam de beschikking heeft over voldoende krachtige rekenservers waarop alle deelmodellen tegelijkertijd gedraaid kunnen worden.

Ad 2 Koppeling AMIGO – SMART2-SUMO2-NTM3

In de case-studie Baakse Beek is de koppeling tussen AMIGO en SMART2-SUMO2 een koppeling achteraf. Er is nog geen dagelijkse of jaarlijkse terugkoppeling gerealiseerd zoals dat wel is gerealiseerd voor de koppeling tussen MetaSWAP en het gewasgroei model WOFOST.

De tools om de kaarten te vergrinden die in SMART2-SUMO2 moeten worden ingelezen, moesten worden aangepast, omdat deze waren toegenomen op 250 x 250 m resolutie en niet direct werkten met de resolutie van 25 x 25 m.

Veel tijd is gaan zitten in de postprocessing van de Modflow-MetaSWAP resultaten voor gebruik door SMART2-SUMO2. De ervaring in dit project heeft geleerd dat de postprocessing voor SMART2-SUMO2 nog verder ontwikkeld moet worden om deze robuuster en gebruiksvriendelijker te maken. Zo vereisen de postprocessors nu dat het model opnieuw gestart wordt. Dat is riskant omdat de oorspronkelijke modeluitvoer dan wordt overschreven, als deze niet eerst is verplaatst (of dit anderszins wordt voorkomen). De postprocessors lezen ook meer informatie in dan daadwerkelijk gebruikt wordt. Het door MetaSWAP laten wegschrijven van al deze uitvoer resulteerde in het vollopen van de schijfruimte. Om de hoeveelheid uitvoerdata beheersbaar te houden is daarom een filter gemaakt die ervoor zorgde dat alleen voor de SVAT-units van de natuurgebieden uitvoer als uitvoer werd wegeschreven. Een alternatief (dat waarschijnlijk de voorkeur verdient) is om de postprocessing voor SMART2-SUMO2 zodanig in te richten dat het aantal uitvoervariabelen beperkt wordt. Op die manier kunnen ook uitvoervariabelen voor niet-natuurgebieden worden wegeschreven.

4 Onzekerheden

4.1 Theoretisch kader onzekerheden rekenmodellen

Proces-response modellen (of modelketens) worden gebruikt om ontwikkelingen in te schatten, het effect van maatregelen door te rekenen en besluiten te nemen. Het model geeft altijd een antwoord op de vraag 'wat gebeurt er als ...'. Als we uitspraken doen met een model(keten) is het belangrijk om een indicatie te hebben in hoeverre de uitspraak de (toekomstige) werkelijkheid benaderd. Of anders gezegd, hoe ver een modelresultaat er naast kan zitten. Daarom is het van belang om inzicht te hebben in de onzekerheid van modeluitkomsten.

Via de modelketen werken verschillende bronnen van onzekerheid door in het uiteindelijke resultaat. De relatie tussen de onzekerheid in deze bronnen en in de modeluitkomst kan in principe via onzekerheidsanalyse kwantitatief worden gemaakt. De modelketen is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid, waarin niet alle processen beschreven worden. Onzekerheden als gevolg van het verwaarlozen van processen worden niet via de modelketen gekwantificeerd. In deze studie zijn macro-economische, politieke en demografische veranderingen niet in beschouwing genomen en de onzekerheden omtrent de ontwikkelingen in deze domeinen komen dan ook niet terug in de gekwantificeerde onzekerheid van de voorspellingen.

Enige begrippen

Bij onzekerheidsanalyse worden verschillende begrippen niet altijd even eenduidig gebruikt. De *betrouwbaarheid* geeft aan in welke mate we zeker zijn dat het berekende resultaat ook de werkelijkheid beschrijft. Bij modellen geldt de betrouwbaarheid altijd gegeven het modelconcept en de vereenvoudigingen. Een ander modelconcept levert dus in het algemeen ook een andere betrouwbaarheid op. De betrouwbaarheid wordt vaak aangegeven met een x% betrouwbaarheid interval. Dit houdt in dat er x% kans is dat de werkelijke waarde zich binnen dit interval bevindt. Met de term *onzekerheid* wordt het omgekeerde van betrouwbaarheid bedoeld. Vaak wordt *nauwkeurigheid* als synoniem voor betrouwbaarheid gebruikt. Echter, nauwkeurigheid is feitelijk een term om de mate van detail aan te geven, dus eerder het oplossend vermogen, dan een indicatie van de onzekerheid. Het doel van een onzekerheidsanalyse is om de betrouwbaarheid aan te geven van het modelresultaat (in dit geval de voorspelling). Een eerste stap hierbij kan een *gevoeligheidsanalyse* zijn, waarbij wordt geanalyseerd in hoeverre de voorspelling verandert als de waarde van een (onzekere) parameter of drijvende kracht verandert. Bijvoorbeeld een parameter kan heel onzeker zijn, maar als de voorspelling met het model niet gevoelig is voor die parameter, is de parameteronzekerheid niet relevant. Modellen worden veelal gekalibreerd. *Kalibratie* is een proces waarbij de parameterwaarden in een model worden bijgesteld om het verschil tussen de modeluitkomsten en veldmetingen te minimaliseren. *Validatie* (het geldig verklaren van het model) is het proces waarbij het model wordt vergeleken met metingen die niet bij de kalibratie gebruikt zijn (bijvoorbeeld in een andere periode of voor een andere locatie). Bij een valide model moeten de afwijkingen in de validatie overeenkomen met die in de kalibratie. Theoretisch is een model alleen geldig binnen het waardenbereik waarin de validatie is uitgevoerd.

Oorzaken en bronnen van onzekerheid

Er zijn verschillende fasen in de modellering waar onzekerheid een rol speelt. De eerste fase is de modelbouw/kalibratie. Essentieel hierbij is dat we de modelberekening kunnen confronteren met waarnemingen en daarmee een bestaande situatie zo goed mogelijk willen beschrijven. Hebben we eenmaal een model, dan kan het model in de tweede fase gebruikt worden voor projecties en scenario's. Het model beschrijft dan een (nog) niet bestaande situatie en kan dus ook niet worden geconfronteerd met werkelijke

waarnemingen. In beide fasen zijn vele bronnen van onzekerheid te onderkennen. In de hiernavolgende paragrafen wordt getracht om de verschillende bronnen van onzekerheid te ordenen.

We nemen eerst een enkelvoudig model en beschouwen dat als een input - response relatie. De response (output) is de variabele die we willen modelleren en waarvan de onzekerheid liefst zo klein mogelijk moet zijn. Het model beschrijft de relatie tussen de input-variabelen (drijvende krachten) en de response. In deze relatie zijn de eigenschappen van de te modelleren werkelijkheid beschreven met parameters. De relatie tussen input en response kan uiteraard zeer complex zijn. De bronnen van onzekerheid bij een enkelvoudig model zijn te verdelen in:

- a. Modelconcept onzekerheden.
- b. Input onzekerheden.
- c. Parameter onzekerheden.

Als er meerdere modellen in combinatie gebruikt worden, kan er ook onzekerheid ontstaan door de conversie van het ene model naar het andere, veelal als gevolg van schaaleffecten. Dit zijn dan:

- d. Conversie onzekerheden.

Ad a Modelconcept onzekerheid.

In vrijwel alle gevallen is het model een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Om een model hanteerbaar te houden wordt het aantal gemodelleerde processen in de regel beperkt. Verder worden numerieke wiskundige modellen vaak vereenvoudigd qua schematisatie, discretisatie, linearisatie e.d. van de werkelijkheid. Illustratief hiervoor is bijvoorbeeld een geohydrologische schematisatie van de bodemopbouw (ondergrond) in watervoerende en waterscheidende lagen, waarmee de heterogeniteit van de bodemopbouw door het beperken van het aantal modellagen vaak sterk wordt vereenvoudigd. Bovendien is het voor de kalibratie vaak noodzakelijk om additionele verbanden aan te nemen tussen parameters omdat het aantal vrijheidsgraden bij kalibratie niet te groot mag zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval met ruimtelijk verdeelde parameterelden waarbij een zonering wordt toegepast of een geostatistisch verband wordt aangenomen. Hierbij wordt een balans gezocht tussen het detail dat met het model beschreven kan worden (en dus meer parameters) en de betrouwbaarheid van de parameters na kalibratie (zo min mogelijk parameters). Het model beschrijft vaak wel de grote lijn, maar niet de hogere orde fluctuaties. Er zijn wel methoden om modelconceptfouten expliciet te benoemen (bijvoorbeeld in het Kalman Filter), maar vaak wordt modelonzekerheid niet expliciet meegenomen. Bij het gebruik van het model voor scenario-berekeningen en voorspellingen kan dit tot gevolg hebben dat de werkelijkheid (ver) buiten de berekende onzekerheidsgrenzen ligt. Bijvoorbeeld een neerslag-afvoer model waar geen overland flow in gemodelleerd wordt, dat gebruikt wordt voor scenario's met extreme neerslag.

Ad b Input onzekerheid.

Inputvariabelen zijn voor het model extern aangeleverde grootheden. In de kalibratie fase zijn dit vaak gemeten grootheden of resultaten van andere modelberekeningen en derhalve ook behept met onzekerheid. Omdat de onzekerheid in parameters en input altijd gekoppeld in het model voorkomen is het niet mogelijk beide onafhankelijk bij te stellen. Meestal worden de parameters bijgesteld gedurende de kalibratie. Fouten in de input kunnen daardoor worden gecompenseerd door fouten in de parameters. Voor toekomstberekeningen zijn geen waarnemingen van de input beschikbaar. Deze worden op één of andere manier gegenereerd. Onzekerheid in de input werkt direct door op de onzekerheid van de modelrespons en kan niet met kalibratie worden verkleind.

Ad c Parameter onzekerheid

Met parameters van het model worden hier karakteristieke eigenschappen van de te modelleren werkelijkheid bedoeld. Veelal (maar niet altijd) zijn de modelparameters constanten in de tijd, ten minste over de periode die we willen modelleren. Een voorbeeld van zo'n parameter is de doorlatendheid van de bodem. In de kalibratie fase worden de parameterwaarden zodanig bijgesteld dat de response van het model optimaal past bij de

waarnemingen van de werkelijkheid, bij een gegeven modelstructuur en gegeven inputvariabelen. In sommige gevallen levert de kalibratieprocedure expliciete informatie over de parameteronzekerheid. Bedenk hierbij altijd dat deze onzekerheid geldt gegeven de modelstructuur en gegeven de set van waarnemingen van input en response. De parameteronzekerheid kan worden verkleind door informatie (waarnemingen) toe te voegen. Er zal echter altijd een parameteronzekerheid overblijven, die ook doorwerkt in de fase dat het model voor scenarioberekeningen of voorspellingen wordt gebruikt. Strikt genomen zou een model niet gebruikt mogen worden voor scenario's die buiten de range vallen waarin het is gekalibreerd en gevalideerd. Echter, zeker bij toekomstverkenningen gebeurt dit vaak wel.

Ad d Conversie onzekerheid

In een keten van modellen wordt de output van het ene model doorgegeven naar het andere model. In principe kan dit op twee manieren. Ten eerste kan de output van model 1 worden gebruikt als *input* van model 2. Dit is bijvoorbeeld het geval als er neerslagreeksen van een klimaatmodel worden gebruikt als input van een hydrologisch model. Ten tweede kan de output van model 1 gebruikt worden als *parameter* bij model 2. Dit is bijvoorbeeld het geval als het resultaat van een geologisch model gebruikt wordt in een grondwaterstromingsmodel. Naast de aspecten die hiervoor zijn behandeld voor een enkelvoudig model, kunnen bij een modelketen ook fouten (ook vaak onzekerheden genoemd) optreden als gevolg van vervorming van de informatie vooral door schaling (conversiefouten). Stel dat model 2 op een kleinere schaal werkt dan model 1, dan zal de variabele moeten worden neergeschaald. Hierbij ontstaat op het kleinere schaalniveau een extra onzekerheid. Het omgekeerde kan ook het geval zijn. Als we van een kleinere schaal naar een grotere schaal gaan, worden onzekerheden en ruimtelijke verschillen ten dele uitgemiddeld.

Aanpak in de beide cases.

In de beide cases Walcheren en Baakse Beek worden verschillende modellen aan elkaar gekoppeld tot een keten. Daarbij is uitgegaan van een vast modelconcept. Onzekerheden binnen het modelconcept zijn in beschouwing genomen bij de kwantitatieve onzekerheidsanalyse. Alle andere oorzaken van onzekerheid zijn uitsluitend in de kwalitatieve analyse meegenomen. Bij een gegeven modelconcept kan de onzekerheid in principe op twee manieren in de modelketen worden doorgerekend. De eerste mogelijkheid is om van alle inputvariabelen en -parameters de kansverdeling te bepalen en vervolgens deze kansverdelingen door te rekenen naar de kansverdeling van de outputvariabele. Echter, lang niet van alle variabelen en parameters is een kansverdeling te geven (bijvoorbeeld klimaatscenario's), en bovendien is van sommige modellen de structuur zodanig ingewikkeld, dat het doorrekenen van de kansverdelingen in praktijk ondoenlijk is. De tweede manier is om een aantal realisaties van de inputvariabelen en de parameters te genereren en die realisaties vervolgens met de modelketen door te rekenen. Voor een werkelijke onzekerheidsanalyse moet een groot aantal realisaties worden doorgerekend. Aangezien het om een groot aantal inputvariabelen en parameters gaat en sommige onderdelen van de modelketen zeer rekenintensief zijn, zou dit vele maanden rekentijd hebben gekost. Daarom is ervoor gekozen om in eerste instantie een gevoeligheidsanalyse uit te voeren. De modeluitkomst met de modelketen is niet even gevoelig voor de onzekerheden in alle inputvariabelen en -parameters. Op basis van expert kennis is per model vastgesteld voor welke inputvariabelen en/of -parameters het model het meest gevoelig is. Vervolgens zijn hiermee een paar simulaties doorgerekend. De simulaties zijn zo gekozen dat ze in redelijkheid het bereik van waarden opspannen die een inputvariabele of parameter kan hebben (bijvoorbeeld de klimaatscenario's). Dit geeft inzicht in: 1. Hoe groot het te verwachten bereik is waarbinnen de modeluitkomst zich zal bevinden, als gevolg van onzekerheid in input en parameters; 2. Welke inputvariabelen en parameters een dominante invloed hebben op de onzekerheid van de modeluitkomst. In een volgende fase kunnen meer realisaties van de dominante factoren worden doorgerekend om een beter beeld te krijgen van de onzekerheid.

4.2 PBL-leidraad 'omgaan met onzekerheden'

Klimaat- en toekomstbestendig integraal waterbeheer-beleid zal de facto altijd te maken hebben met risico's en onzekerheden. Zowel onzekerheden over het gedrag van het biofysisch systeem, als ook over sociale, economische en demografische ontwikkelingen - inclusief de onderlinge wisselwerking tussen biofysisch en sociaal systeem, maken dat het potentiële effect van beleids- en beheersmaatregelen nooit met zekerheid is in te schatten.

De vraag is natuurlijk of dit ernstig is, en of (en hoe) met deze onzekerheden rekening gehouden moet (en kan) worden bij besluitvormingsprocessen. Dit vereist in elk geval een expliciete reflectie over 'hoe om te gaan met onzekerheden':

1. wat zijn de vragen, zorgen en perspectieven van betrokken stakeholders (bijvoorbeeld lokale en regionale overheid, bedrijven, huishoudens, burgers) over de waterbeheer-problematiek,
2. wat zijn als gevolg daarvan de belangrijkste onzekerheden bij de problematiek (welke moeten dus vooral in kaart gebracht worden),
3. hoe moeten de belangrijkste consequenties van deze onzekerheden voor beleid en besluitvorming worden uitgewerkt en gecommuniceerd?

Dit zijn issues die vooral ook van belang zijn als modellen en modelberekeningen worden ingezet om kennis en informatie aan te leveren bij besluitvormingsprocessen.

Binnen het PBL is, in samenwerking met UU (dr. J. van der Sluijs) en andere instituten, een web-ondersteunde systematiek ontwikkeld die kan worden ingezet bij de beantwoording van deze vragen vooral in situaties waarin modelberekeningen een rol spelen: de Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden⁷. In het bijlage-rapport Baakse Beek wordt uitgebreid ingegaan op het gebruik van de Leidraad en de nadere kwalitatieve analyse van onzekerheden in de modelketen (Van der Sluijs en Janssen, 2012). De conclusies over de leidraad en kwalitatieve analyse worden in het navolgende kort besproken.

4.3 Bruikbaarheid leidraad

De PBL Leidraad is opgebouwd uit verschillende onderdelen en kan gefaseerd en in verschillende gradaties van detail worden ingezet. Bij de quickscan verkenning naar onzekerheden voor de Baakse Beek casus is vooral het Mini-Check onderdeel van de PBL Leidraad gebruikt, met incidentele aanvulling vanuit de Quickscan Vragenlijst. Uit de resultaten van de quick-scan verkenning komt het beeld naar voren dat er een substantieel begin is gemaakt met het in kaart brengen van de relevante onzekerheden en aannames in de modelketen voor de Baakse Beek casus, maar dat er nog onvoldoende zicht is op de complete doorwerking van deze onzekerheden op de resultaten.

Gebruiksgemak

Tijdens de Quickscan workshop bleek al snel dat het woord 'quick' bij 'Quickscan' niet echt op zijn plaats is. Een eerste gebruik van de leidraad bleek meer tijd te vergen dan een ochtend, vooral in een initiële fase van een project waar meerdere onderzoekers en modellen bij betrokken zijn, en er nog geen vertrouwdheid met de leidraadtool is, terwijl ook nog geen duidelijkheid bestond over hoe de verschillende deelmodellen precies zouden worden gekoppeld.

Veel tijd ging zitten in het eerste onderwerp 'Probleemafbakening', en er bleef nog weinig aandacht over voor de andere aspecten. Ook werd het invullen als tijdsintensief en op den duur ook als vermoeiend ervaren door de

⁷ <http://leidraad.pbl.nl/>

veelheid van aspecten die de revue passeren, die bovendien vaak een wisselende mate van concreetheid en vertrouwdheid hebben. Om focus en concreetheid te stimuleren (bijvoorbeeld bij het in kaart brengen van belangrijke onzekerheidsbronnen) zijn bovendien nog additionele instructies en concrete voorbeelden gewenst. Het theoretisch kader voor het inventariseren van de belangrijkste onzekerheidsbronnen in een modelleerketen (paragraaf 4.1) lijkt hiervoor goed bruikbaar.

De huidige web-applicatie (<http://leidraad.pbl.nl>) bleek onvoldoende faciliteiten te hebben om op een goede en pragmatische manier een leidraadsessie in te vullen en uit te wisselen met meerdere onderzoekers: niet alleen is tekstopmaak maar heel beperkt mogelijk (het is bijvoorbeeld niet mogelijk om plaatjes op te nemen), ook ontbreekt een duidelijk versiebeheer van de afzonderlijke sessies en zijn er geen eenvoudige mogelijkheden tot tracking van commentaar op eerdere versies. Daarom is uiteindelijk ook besloten om het leidraaddocument als (nader in te vullen) Word-document aan te bieden, in plaats van het invullen via de web-applicatie te laten plaatsvinden.

Nut

Als reflectie-instrument heeft de PBL Leidraad zeker zijn waarde: het doorlopen van de issues die in de Mini-Check worden genoemd triggert expliciet de aandacht om rekenschap te geven van de diverse keuzes en aannamen die onvermijdelijk bij beleidsonderbouwende studies gemaakt worden. Ook het effect die dit alles kan hebben op de uitkomsten van de studie, en wat dit voor de communicatie van de resultaten en hun onzekerheden betekent, wordt hierbij expliciet onder de aandacht gebracht.

Van de andere kant kan ook gesteld worden dat veel zaken die door de Mini-Check worden aangeroerd in zekere zin common-sense zijn, c.q. al tussen-de-oren zitten, en op die manier sowieso al aandacht krijgen. De meerwaarde van het gebruik van de PBL Leidraad schuilt vooral in het feit dat deze reflectie explicieter wordt uitgevoerd en ook transparant wordt vastgelegd. Bovendien voorkomt het gebruik van de Mini-Checklist dat er mogelijk zaken over het hoofd worden gezien.

Als instrument dat bruikbaar is bij de verdere aansturing van de manier waarop bij een integrale studie 'met onzekerheden kan worden omgegaan' (en hierbij belangrijke knelpunten en hiaten signaleert en suggereert hoe hiermee om te gaan), heeft de PBL Leidraad binnen deze studie niet of nauwelijks gefunctioneerd. Daarvoor is vereist dat de PBL Leidraad ook (a) directer en duidelijker wordt ingebed in de projectsturing en -uitvoering en dat (b) het nut en gebruik ervan gemeenschappelijk gedeeld wordt binnen het projectteam, en dat (c) het gebruik ook actiever en aansprekender gefaciliteerd wordt, bijvoorbeeld door hem aan te bieden in het format van een groepsdiscussieproces meer nog dan als invulsessie van de web-based applicatie. Het gebruik van zo'n laatste format kan ook voorkomen dat - mede omdat veel leidraad-vragen expliciet naar 'mitsen en maren' vragen - het gebruik van de leidraad eerder als remmend dan als stimulerend ervaren wordt. Deze punten zijn vooraf onvoldoende onderkend en onvoldoende actief bijgestuurd bij het traject van de leidraad-inzet, ook omdat snel bleek dat het operationaliseren van de modellen en hun onderlinge koppelingen veel van de aandacht en capaciteit van het projectteam vroeg.

4.4 Kwalitatieve analyse onzekerheden modelketen

Uit de toepassing van de quick-scan PBL Leidraad omgaan met onzekerheden kwam onder meer naar voren dat kwalitatieve dimensies van onzekerheid in de casussen een belangrijke rol spelen. Daarnaast bleek sprake van een behoefte aan meer inzicht in vooral de sterktes en zwaktes van de noodzakelijkerwijs gehanteerde veronderstellingen in de gebruikte modelketens. In het deelproject kwalitatieve onzekerheidsanalyse Baakse Beek zijn deze aannamen en hun beperkingen systematisch in kaart gebracht voor de casus Baakse Beek. Daarbij is gebruik gemaakt van de door Klopogge et al., (2011) ontwikkelde en inmiddels beproefde methode voor de systematische analyse van aannamen in modelrekenketens. Er is daarbij vooral gekeken naar:

- Mogelijk problematische versimpelingen van de werkelijkheid.
- Opschaling/neerschaling - vooral bij de koppeling van modellen.

- Variabelen die in het model constant zijn gehouden in ruimte en of tijd maar die in werkelijkheid variëren.
- Buiten beschouwing gelaten mee- of terugkoppelingen.
- Buiten de systeemgrens gehouden processen.

Op basis van documentanalyse en interviews met de diverse modelleers is een groslijst opgesteld van circa 50 aannamen in de modelketen van de Baakse Beek. Niet al deze aannamen zijn uit onzekerheidsoogpunt van gelijk belang. Daarom is in een eerste prioriteringsronde aan de betrokken onderzoekers gevraagd een top 10 te selecteren van die aannemens die naar hun inschatting de meeste invloed hebben op de uitkomsten van de casestudie Baakse Beek: de gesimuleerde effecten van klimaatverandering rond 2050 op hydrologie, landbouw en natuur. De 'top 10'-lijstjes van zestien respondenten zijn samengevoegd tot een groepsranking van de aannamen in de groslijst.

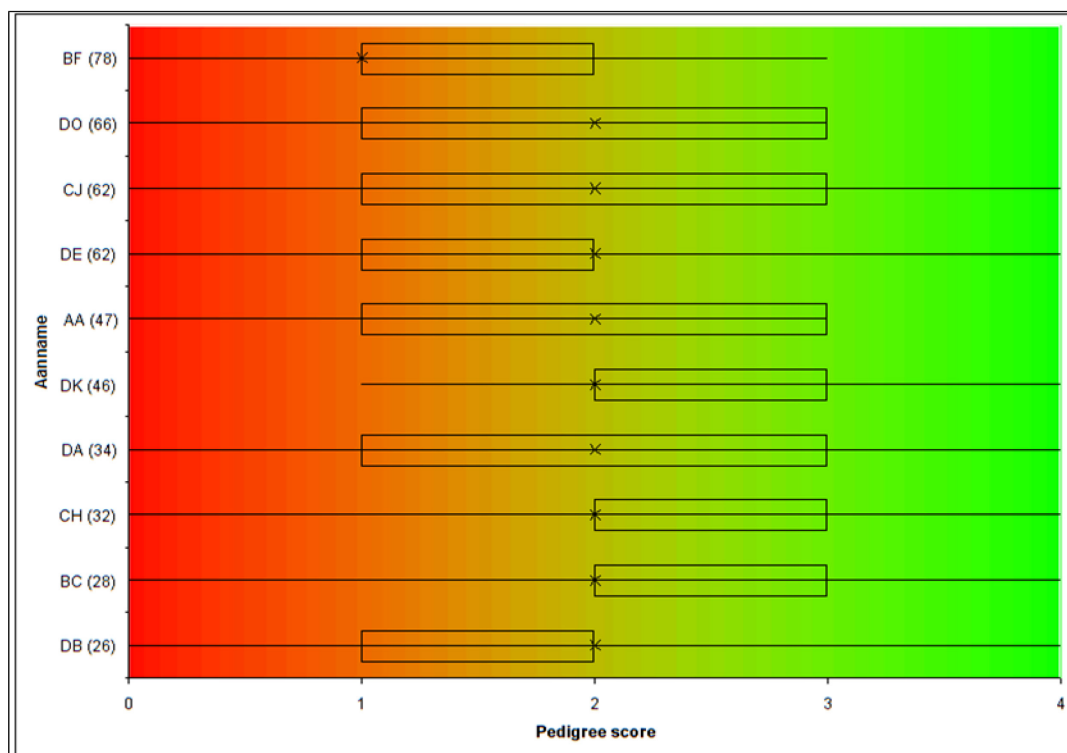
In een tweede ronde is een bredere groep van 23 respondenten gevraagd om elk van de 'top 10'-aannamen uit de groepsranking zoals die naar voren kwam uit de eerste ronde kritisch tegen het licht te houden door deze te karakteriseren aan de hand van een zevental criteria, elk met een vijf-punts schaal. De criteria hebben betrekking op hoe sterk of zwak een aanname is onderbouwd en hoe houdbaar/verdedigbaar of subjectief deze is.

De criteria waarop elke aanname is beoordeeld zijn:

- *Invloed van situationele beperkingen*: de mate waarin de keuze voor een aanname beïnvloed kan zijn door situationele beperkingen, zoals een gebrek aan data, geld, tijd, soft- en/of hardware, tools, menskracht.
- *Plausibiliteit*: de mate waarin de (benaderde) beschrijving op basis van de gehanteerde aanname, in overeenstemming is met de werkelijkheid (meestal gebaseerd op expert judgement).
- *Keuzeruimte*: De mate waarin (evenzeer verdedigbare) alternatieven voor deze aanname beschikbaar zijn (had je in deze modelketen hier even goed iets anders kunnen aannemen?).
- *Overeenstemming onder experts*: De mate waarin binnen de gemeenschap van experts (peer community) overeenstemming bestaat over dat deze aanname goed is (in het licht van het gebruiksdoel van het model).
- *Overeenstemming onder stakeholders*: De mate van overeenstemming onder stakeholders dat deze aanname goed is (in het licht van het gebruiksdoel van het model).
- *Gevoeligheid voor visie en belangen van de onderzoeker*: De mate waarin de keuze voor een aanname, bewust of onbewust zou kunnen zijn beïnvloed door de visie en belangen van de onderzoeker die de aanname opgesteld heeft of gebruikt.
- *Invloed op het resultaat*: Hoe sterk schat u dat deze aanname doorwerkt op het eindresultaat van de modellentrein Baakse Beek? (opmerking: eindresultaat/eindpunten van de reken-keten betreft de gesimuleerde effecten van klimaatverandering op landbouw, natuur en hydrologie).

Elke respondent is ook gevraagd om elke score te verantwoorden door de overwegingen en motivaties per score toe te lichten.

In figuur 13 zijn voor alle aannamen uit de groeps-top10 de pedigree score weergegeven als Box-Whisker plot. Dit geeft een beeld van de gezamenlijke spreiding in de scores tussen criteria (a t/m f) en tussen respondenten (1 t/m18). Hoe lager de pedigree score, hoe zwakker de aanname is onderbouwd. Dit is aangegeven met de kleurengradient van rood naar groen.



Figuur 13

Geaggregeerde pedigree scores van alle respondenten als 'Box and Whisker' plot. De x geeft de mediaan, de box geeft de interkwartielafstand (25ste tot en met 75ste percentiel) en de lijn loopt van minimaal tot maximaal. Naast de aannamecodes (deze verwijzen naar kolom 1 van tabel x) op de Y-as staat tussen haakjes het aantal punten dat de respondenten gaven aan deze aanname in de prioriteringsronde. Hoe meer punten, hoe hoger de aanname gemiddeld in de top 10-lijstjes stond (theoretisch maximum: 160 punten).

Volgens deze analyse is de meest onzekere aanname, aanname BF: de veronderstelling dat het landgebruik en beheer constant zijn in de tijd (als er geen klimaatadaptatiebeleid wordt gevoerd). Deze heeft zowel de eerste plaats in de groepstop-10 als de laagste pedigree score (mediaan = 1 op een ordinale schaal van 0 t/m 4). Hierbij moet wel worden bedacht, dat dit geen onzekerheid van de modelketen is maar eerder gezien kan worden als één van de denkbare scenario's die met de modelketen kunnen worden verkend. Ontwikkelingen in het landgebruik en waterbeheer kunnen prima als rekenscenario in de modelketen worden vertaald naar effecten op hydrologie, landbouw en natuur. Het is in feite ook een beleidsmatige sturingsvariabele; de provincie en waterbeheerder kunnen beleid ontwikkelen om te sturen op het toekomstige landgebruik, hetgeen bijvoorbeeld niet opgaat voor de ontwikkeling van het klimaat dat alleen op mondiale schaal kan worden beïnvloed. Wel is onzeker in hoeverre er binnen een gegeven landgebruik en beheerscenario nog autonome adaptatie kan optreden doordat veranderend klimaat terugkoppelt op het gedrag. In theorie zou dat te modelleren zijn met een zogenaamd Complex Adaptive System model (CAS), maar dat is een type model dat vrijwel niet is te valideren.

Twee andere aannamen waarvan een belangrijk deel van de interkwartielafstand van de pedigree scores in het rode gebied ligt (in figuur x) zijn aanname DE (kwaliteit en kwantiteit water naar wortelzone) en aanname DB (aggregatiestap mineralisatie-reductie factor bij modelkoppeling dagwaarden AMIGO met jaarwaarden SMART2). Door het vervolgonderzoek op deze drie aannamen te richten kan een substantiële verbetering van de betrouwbaarheid van de uitkomsten van de modellentrein worden verwacht.

Nu de modelketen voor de Baakse Beek operationeel is, biedt deze goede mogelijkheden om gericht een meer integrale gevoeligheids-/onzekerheidsanalyse uit te voeren, waarbij eventueel ook de belangrijkste

onzekerheidsbronnen uit verschillende modellen gecombineerd kunnen worden meegenomen. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met beperkingen qua rekentijd. Dat kan betekenen dat voorlopig het maximaal haalbare is dat 'zuinige' gevoeligheidsanalyses worden uitgevoerd waarbij factoren (onzekerheidsbronnen) op een slimme manier gecombineerd worden ingesteld, in plaats van ze stuk voor stuk te variëren. De bevindingen die uit deze NMDC-studie naar voren komen kunnen richtinggevend zijn voor de keuze welke factoren (onzekerheidsbronnen) hierbij vooral bekeken kunnen worden. Zoals aangegeven kunnen met de modelketen ook diverse landgebruiksentwikkelingen integraal worden doorgerekend.

5 Informatiebehoefte stakeholders

5.1 Doelen

Door het koppelen en schalen van verschillende hydrologische en gewasopbrengst-modellen streeft het NMDC-project naar het aanbieden van informatie die beter aansluit op de behoeften van de potentiële gebruikers van dit modelleninstrumentarium. Om in beeld te krijgen wat deze behoeften zijn, is in beide casestudiegebieden een stakeholderanalyse uitgevoerd. Op Walcheren is de stakeholderanalyse gefocust op de 'zoetwaterbeschikbaarheid', in de Baakse beek op 'wateroverlast en watertekort'.

Specifiek heeft de stakeholderanalyse als doel inzicht te krijgen over de volgende vragen:

- Hoe zwaar weegt of wegen de kwestie(s) 'zoetwaterbeschikbaarheid' (Walcheren) en 'wateroverlast en watertekort' (Baakse beek) op dit moment voor stakeholders en hoe wordt dit ingeschat voor de toekomst.
- Welke informatie heeft men nodig ter ondersteuning bij de besluitvorming over de kwestie (vooral informatie op het gebied van grondwater, gewasopbrengst, natuur en klimaatverandering).
- Hoe zou deze informatie beschikbaar gemaakt moeten worden wat betreft schaal, eenheid en vorm.
- Welke onzekerheden spelen een rol in de besluitvorming en hoe belangrijk worden deze onzekerheden beschouwd.
- Hoe er over deze onzekerheden gecommuniceerd zou moeten worden.

5.2 Aanpak

In beide casestudies is de stakeholderanalyse uitgevoerd met interviews met potentiële gebruikers van het modelleninstrumentarium (zie tabel 5.1). De interviews zijn afgenomen door twee projectleden, waaronder één persoon die ook betrokken was bij het koppelen en schalen van de modellen. Dit is gedaan om de behoeften van stakeholders direct mee te kunnen nemen in de ontwikkeling van het modellen-instrumentarium. De interviews zijn voorafgegaan door een literatuurscan.

Tabel 2

Organisaties waarbij de respondenten werkzaam zijn.

Walcheren	Baakse beek
ZLTO, LLTO, LTO-Noord (groepsgesprek drie respondenten)	LTO Noord
Waterschap Scheldestromen (twee respondenten)	Waterschap Rijn en IJssel
Provincie Zeeland	Provincie Gelderland
Waterhouderij Walcheren	Natuurmonumenten
DLG	

De gesprekken zijn uitgewerkt in gespreksverslagen die aan de geïnterviewden nog ter controle zijn voorgelegd (Groot et al., 2012).

In beide casestudie-gebieden is een feedbackbijeenkomst gehouden waarin de resultaten van het koppelen en schalen van de modellen is besproken in het licht van de geïdentificeerde behoeften.

5.3 Deelrapport stakeholderanalyse werkpakket 1

NMDC-Innovatieproject, deelresultaat Stakeholderanalyse, geeft uitgebreid inzicht in de percepties van de verschillende respondenten over de problematiek van zoetwaterbeschikbaarheid (Walcheren) en 'wateroverlast en watertekort' (Baakse Beek). Ook de specifieke informatiebehoeften van de respondenten op het gebied van klimaat, grondwater, natuur en gewasgroei zijn in dit deelrapport in detail beschreven. In dit hoofdtrapport wordt volstaan met een synthese van deze resultaten.

5.4 Resultaten Walcheren

Probleemperceptie

De behoefte aan zoetwater op Walcheren is relatief gering vanwege de bodemstructuur, de aanwezige kreekruigen en zoetwaterlenzen. Door de eeuwen heen hebben de agrariërs zich goed weten aan te passen aan de fysische en klimatologische omstandigheden van het gebied door te kiezen voor grasland en/of teelten als aardappelen, graan, bieten: gewassen die relatief minder zout- en droogtegevoelig zijn. De meeste respondenten ervaren zoetwaterschaarste dan ook niet als een ernstig probleem. Volgens de respondenten ervaren agrariërs zoetwaterschaarste als een knelpunt in de productie. Voor de toekomst zien alle respondenten zoetwaterschaarste een ernstiger probleem worden door klimaatverandering.

Huidige informatiegebruik

Onderzoek wordt ervaren als duur en de resultaten ervan als weinig toepasbaar. De criteria die worden gebruikt bij het bepalen van effecten van maatregelen omvatten: opbrengst (in €), ecologie, landschappelijke inpassing, schade door vernatting, droogte en verzilting.

Informatiebehoefte

De respondenten hebben aangegeven op het gebied van klimaat, grondwater en gewasgroei de volgende informatiebehoeften te hebben:

- Klimaat:
 - Meerjarige trends –verandering in gemiddelde waarden.
 - Toename in extremen: neerslag-inundatie; frequentie aantal droge jaren achtereen.
 - Effecten van maatregelen op de grondwaterstand, vochtvoorziening voor het gewas en gewasgroei moeten gekoppeld worden aan de vier verschillende klimaatscenario's en het klimaat dat 90% van de tijd, dus juist niet de extreme situaties, zal plaatsvinden.
 - Verwachtingen voor 2030 zijn interessanter dan 2050 door grote onzekerheden op gebied van sociaal economische ontwikkelingen.
- (Grond)water:
 - (Freatische) grondwaterstand; GLG-GHG-grondwaterstand, fluctuaties door het seizoen heen.
 - Kwaliteit grondwater; chloride-concentratie in grondwater en de bewortelbare zone over het gehele groeiseizoen.
 - Afvoerpatronen na een hevige regenval.
 - Kwel en invloed van zeespiegelstijging.
 - Vochtvoorziening van het gewas.
- Gewasopbrengst
 - Kwaliteit van de gewasopbrengst.
 - Opbrengst in euro's.
 - Opbrengstderving door droogteschade waarvan % zoutschade.
 - Opbrengstderving door natschade.

Vorm informatieaanbod

Over de vorm waarin de informatie moet worden aangeboden blijkt dat de respondenten vooral behoeften hebben aan risico/kanskaarten op gebied van:

- Inundaties.
- Gewasschade door hoge zoutgehalten; kaarten zoet-zoutgrensvlak t.o.v. maaiveld.
- Bodemkaart in combinatie met hoogtekaart: kansen voor landbouw,
- Drainagerichting gekoppeld aan bodemtype: grondwaterafvoerpatronen,
- Waar is ondergronds bergend mogelijk?

Onzekerheid

Vooral onzekerheden in sociaal economische ontwikkeling (marktontwikkelingen) worden als heel belangrijk ervaren, net als onzekerheden in weersextremen. Onzekerheden gerelateerd aan modellen worden als belangrijk tot matig belangrijk ervaren.

5.5 Resultaten Baakse Beek

Probleemperceptie

LTO Noord, Waterschap en de provincie vinden wateroverlast een groter probleem dan watertekort. De wateroverlast van augustus 2010 heeft de urgentie nog eens verhoogd. Natuurmonumenten ervaart watertekort als problematisch en spreekt in termen van verdroging. Verdroging wordt gezien als een verandering in de hydrologie dat zich uit in de vorm van lagere grondwaterstanden en minder kwel dat veroorzaakt wordt door menselijk ingrijpen.

Huidig informatiegebruik

LTO Noord maakt niet zo zeer gebruik van modellen en beroept zich op de praktijkkennis van agrariërs. Natuurmonumenten maakt gebruik van Waterlood en uitvoer van hydrologische modellen. Provincie en Waterschappen investeren in het hydraulische model AMIGO dat als goed bruikbaar wordt ervaren voor het gebiedsproces. IJking van de modellen draagt bij aan de acceptatie ervan.

Informatiebehoefte

De respondenten hebben aangegeven op het gebied van klimaat, grondwater en gewasgroei de volgende informatiebehoefte te hebben:

- Klimaat:
 - Voor natuurmonumenten zijn de klimaatscenario's G en W+ het meest interessant, voor het waterschap de W en W+ klimaatscenario's.
 - Neerslagpatronen (reeksen op dagbasis).
 - Verdamping (reeksen op dagbasis).
 - Koppel neerslagpatronen van dertig jaar aan grondwatermodel (acht jaar).
 - Kans op inundatie en droogte .
- (Grond)water
 - Effecten van maatregelen op GLG, GHG, GVG.
 - AMIGO is goed bruikbaar voor het gebiedsproces, er is wel meer koppeling gewenst met effectmodellen en met oppervlaktewater/METASWAP.
 - Weerstand ondergrond: van grondwater naar oppervlaktewater.
 - Herstel van watersysteem (kwel en grondwaterstanden) voor vertaling naar te verwachten natuurtypen.
 - Kans op overstromingen en duur van perioden van droogte in relatie tot klimaatverandering.
- Gewasproductie
 - Welke gronden zijn geschikt voor welke gewassen en hoe ontwikkelt zich dit door klimaatverandering?
 - Duur van droogteperiode t.b.v. planning berekening gewas.
 - Verandering in gewasgroei voor verschillende klimaatscenario's.

- Effect maatregelen op gewasgroei.
- Kwaliteit van het product is belangrijker voor agrariërs dan verandering in droge stof.
- Natuur
 - Koppel informatie over grondwaterstanden aan natuurwaarden.
 - Per maatregel voor elk klimaatscenario aangeven wat het oplevert aan vegetatie of vegetatienatuurwaarde.
 - Effect maatregel op organische stofgehalte.
 - Relatie tussen organische stof en vochthuishouding,
 - Modellen die kunnen terug redeneren: uitgaande van de gewenste natuurwaarde bepaalt het model de maatregel.

Voor alle modellen geldt dat een resolutie van 25x25 m wenselijk is.

Vorm informatieaanbod

Over de vorm waarin de informatie moet worden aangeboden blijkt dat de respondenten vooral behoefte hebben aan risico/kanskaarten op gebied van:

- Verschil in neerslagextremen/ totale hoeveelheid neerslag tussen de Bilt en Winterswijk.
- Verandering in grondwaterstanden, wat zijn natte- en droogte-gevoelige plekken oftewel kans op inundatie en droogte.
- Overstromingen en duur van perioden van droogte in relatie tot klimaatverandering.
- Standplaatsenkaart waaruit natuurwaarden kunnen worden voorspeld
- Gewasproductie en potenties voor klimaat-robuste landbouw in relatie tot hydrologie en klimaat.

Onzekerheid

Onzekerheden in modellen worden als minder belangrijk ervaren dan die voor sociaal economische ontwikkeling en de onzekerheden op het gebied van effecten van maatregelen. Enkele respondenten geven aan behoefte te hebben aan informatie over onzekerheden in modellen en hoe hier mee om te gaan.

5.6 Kritische knelpunten stakeholderanalyse

De hierna genoemde kritische knelpunten zijn gebaseerd op de ervaring van de betrokken onderzoekers en zijn inclusief de resultaten van de stakeholder feedback bijeenkomsten in de twee casestudiegebieden.

Tijdens het koppelen en schalen van de verschillende modellen hebben de onderzoekers slechts in zeer beperkte mate rekening kunnen houden met behoeften en wensen van stakeholders. Er bleek te weinig flexibiliteit en middelen binnen het project te zijn om de modelresultaten aan te passen aan de geuite behoeften. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- Uit de feedbackbijeenkomst in het casegebied Baakse beek bleek dat het belangrijk is dat modelresultaten worden vertaald naar een advies waar bestuurders iets mee kunnen voor het gebiedsproces dat voor de Baakse Beek in gang is gezet en voor de bestuurlijke vragen rond de GGOR (Gewenst Grond- en Oppervlaktewater Regiem). Welke kant gaat het op als gevolg van klimaatverandering? Welke maatregelen voor de GGOR kun je nemen om negatieve trends om te buigen? Het beantwoorden van dergelijke vragen op hoofdlijnen wordt als belangrijker gezien dan een herhaling van modelruns met meer detail of andere parameters.
- Stakeholders op Walcheren gaven aan dat zij modelinformatie graag in de vorm van kanskaarten zouden willen ontvangen (bijvoorbeeld kans op inundatie of droogte; waar is ondergronds bergen mogelijk). Het modelinstrumentarium zoals dit nu ontwikkeld is levert niet automatisch kanskaarten.
- Tussen het draaien van het modelinstrumentarium en het aanleveren van gewenste resultaten moet een aantal 'vertalingsactiviteiten' uitgevoerd worden die noodzakelijk zijn om die informatie aan te leveren waaraan behoefte is en/of in de vorm die de besluitvorming van de gebruikers ondersteunt. Hierbij is het

noodzakelijk om onderscheid te maken tussen verschillende typen gebruikers. In het NMDC-project ontbrak de flexibiliteit en middelen om deze vertaalslagen uit te voeren.

- Tussen het draaien van het modelinstrumentarium en het aanleveren van gewenste resultaten moet een aantal 'vertalingsactiviteiten' uitgevoerd worden die noodzakelijk zijn om die informatie aan te leveren waaraan behoefte is en/of in de vorm die de besluitvorming van de gebruikers ondersteunt. Hierbij is het noodzakelijk om onderscheid te maken tussen verschillende typen gebruikers. In het NMDC-project ontbrak de flexibiliteit en middelen om deze vertaalslagen uit te voeren.

Verder blijkt er veel vraag naar een modelinstrumentarium waarmee de effecten van maatregelen bepaald kunnen worden. Bijvoorbeeld: wat is het effect van peilgestuurde drainage op de grondwaterstand die verandert door klimaatverandering.

Het uitvoeren van metingen voor het valideren van modellen draagt sterk bij aan de acceptatie ervan. Het uitvoeren van metingen wordt als belangrijker gezien dan een herhaling van modelruns met meer detail of andere parameters.

5.7 Sluiten de (model)resultaten aan op hun behoeften?

Uit de stakeholderanalyse voor de Baakse Beek is naar voren gekomen dat men - gelet op de gepresenteerde informatie - vooral geïnteresseerd is in:

- Uitkomsten van het hydrologische model op perceelsniveau of 25 m grid. Het huidige model voldoet qua ruimtelijk detailniveau.
- Inzicht in effecten van klimaat en maatregelen op de GHG, GVG en GLG, en de kwel. Het model kan hieraan voldoen. Sommige partijen hebben aanvullende eisen zoals inzicht in de verhouding grondwater versus regenwater in de wortelzone (relatie natuurwaarden), of verloop van bodemvocht in relatie tot gewasproductie (planning beregeningsbehoefte).
- Voor de landbouw is ook de behoefte geuit om inzicht te geven op het toekomstig risico op inundatie (risicokaart). Dat is in principe te realiseren met AMIGO, maar heeft binnen deze studie waarbij modelkoppelingen en onzekerheid centraal stonden weinig aandacht gekregen. LTO gaf aan behoefte te hebben aan een Early Warning Systeem voor droogte. Het AMIGO-model kan hiervoor in aangepaste vorm worden ingezet.
- Men is zeker geïnteresseerd in een koppeling van het hydrologische model met gebruiksfuncties zoals landbouw en natuur. Met name de relatie met gewasproductie wordt als belangrijk gezien. Binnen deze studie is aangetoond dat AMIGO zeer bruikbaar is om hydrologie te koppelen aan gebruiksfuncties en een goede basis vormt voor een integraal planningsinstrument.
- Voor de berekende effecten van klimaatverandering op de grondwaterstanden willen de stakeholders nadrukkelijk een evaluatie waarin wordt aangegeven hoe betrouwbaar de berekende effecten zijn, hoe deze zich verhouden tot andere recent uitgevoerde studies en daarmee hoe de informatie door de stakeholders verantwoord (en verdedigbaar) gebruikt kan worden in de communicatie in het gebiedsproces.
- Voor de berekende gewasopbrengsten en natuurontwikkeling zijn de stakeholders vooral geïnteresseerd in hoeverre de rekenresultaten valide zijn; komen ze goed overeen met de werkelijkheid. Daarbij wil men graag een evaluatie waarin door de experts wordt aangegeven hoe betrouwbaar de resultaten zijn of, als dat (nog) niet mogelijk is, hoe de resultaten door de stakeholders geïnterpreteerd moeten worden en hoe te benutten voor het gebiedsproces.

Uit de stakeholderanalyse voor Walcheren is naar voren gekomen dat men gelet op de gepresenteerde informatie vooral behoefte heeft aan:

- Hoe verhouden de berekende gewasopbrengsten zich tot landelijke studies die voor het Deltaprogramma zijn uitgevoerd? ZLTO en DLG herkennen zich namelijk niet in de resultaten van deze landelijke berekeningen, omdat die hoge droogteschades aangegeven die voor Zeeland verre van realistisch zijn.' En, hoe komt het dat met Agricom zulke onrealistisch grote droogteschades worden berekend?
- Vanwege het voorgaande: hoe betrouwbaar zijn de berekende landbouwopbrengsten? Zijn deze getoetst aan in Zeeland gerealiseerde opbrengsten?
- Hoe werkt de stijging van de zeespiegel door in het zoutgehalte van het vocht in de wortelzone?
- Worden de verwachtingen van de klimaatverandering anders, als rekening wordt gehouden met de stijging van de Noordzee? (nu wordt hiermee nog geen rekening gehouden).

6 Samenwerking instituten

6.1 Hoe is samengewerkt

Zoals in hoofdstuk 1 is beschreven, is in dit innovatie-project samengewerkt tussen de instituten Alterra, Deltares, KNMI, PBL en TNO.

De samenwerking van de betrokken instituten is concreet vorm gegeven door:

- verkennende besprekingen, geïnitieerd door Patrick Bogaart, om het project vorm te geven en een concreet Plan van Aanpak op te stellen.
- plenaire werksessies, waarin ideeën en informatie is uitgewisseld over de gedane en nog voorgestane werkwijze van de modellering, de analyse van onzekerheden en analyse van de stakeholders.
- plenair voortgangsoverleg, waarin de tussenresultaten zijn gepresenteerd, de voortgang en planning zijn besproken en afspraken zijn gemaakt over de verdere uitwerking en samenwerking.
- interviews met stakeholders; voor deze interviews zijn de experts voor werkpakket 5 samen met de hydrologen van werkpakket 2 en 3 naar de stakeholders gegaan om hun informatiebehoefte met betrekking tot de modellering te bevragen.
- terugkoppeling resultaten aan de stakeholders; voor beide cases is een dagdeel georganiseerd waarin de resultaten zijn gepresenteerd en bediscussieerd met de stakeholders. De instituten hebben in de vorm van presentaties bijgedragen aan deze terugkoppeling.
- bilateraal werkoverleg tussen de modelleers; regelmatig is intensief overleg geweest tussen de modelleers om de in- en output van de modellen op elkaar af te stemmen en de koppelingen tussen de modellen mogelijk te maken. Met name is vaak overlegd tussen de modelleers van de hydrologische modellen en de effectmodellen voor landbouw en natuur.

Veel bilateraal overleg is uiteraard via de mail gevoerd. Daarbij is informatie uitgewisseld via de surfgroepen-site van het NMDC. Het ging vooral om de werkdocumenten en conceptrapporten. Deze site bleek al snel (veel) te klein om ook in- en outputdata van de modellen aan elkaar uit te wisselen.

6.2 Hoe wordt in de toekomst samengewerkt?

Het bleek bij de start van het project een hele tour om zodanig te matchen met lopende onderzoeken zodat de eigen bijdrage kon worden geleverd. Dit is dan ook niet geheel gelukt, vooral niet voor het (vele) werk dat is gaan zitten in de rapportages, de coördinatie en projectleiding. Nu dit project is afgerond, is het dan ook niet vanzelfsprekend dat op een zelfde intensieve manier in vervolgpiloten wordt samengewerkt. Er is namelijk geen financiële drijfveer in de vorm van een aanvullend NMDC-budget fase 2. Wel zijn door het project innovaties bewerkstelligd en stimulerende samenwerkingen ontstaan die uitnodigen om al in 2012 en de komende jaren verder samen te werken. Vooral in onderzoek waar effectmodules voor landbouw en natuur worden gekoppeld aan modellering van de hydrologie en daarbij ook klimaatscenario's worden doorgerekend.

De samenwerking is nu buiten de werkoverleggen en vergaderingen op afstand uitgevoerd. De experts van de instituten hebben het werk 'op het eigen kantoor' uitgevoerd. Een algemene aanbeveling voor soortgelijke modelstudies in de toekomst, waarbij veel samengewerkt wordt door en met de software van verschillende instituten en groepen, is het opzetten van een werkvorm waarin de modelleers en experts van de verschillende instituten/groepen intensiever samenwerken. Met name voor de modelleers geldt dat het beter zou zijn om fysiek in één werkkamer gelijktijdig aan de modelketen te werken, zodat het niet nodig is om de model in- en

uitvoer van de verschillende modelcomponenten op afstand van elkaar te genereren en aan elkaar 'over te gooien'. Op die manier wordt sneller geïtereerd, wordt meer van elkaar geleerd, worden fouten in een eerder stadium ontdekt en ondervangen, en uiteindelijk daardoor een beter product verkregen, met daarbij meer inzichten in verbetermogelijkheden en kansen voor de toekomst.

Zo'n projectkamer hoeft niet per sé de gehele week door een ieder te worden gebruikt, maar er kan bijvoorbeeld worden afgesproken om daar in ieder geval op één twee vaste dagen aanwezig te zijn. Dit komt in het algemeen ook de voortgang van een gezamenlijk project ten goede.

7 Bijdrage project aan NMDC

Algemeen

In beide cases van het project 'Walcheren' en 'Baakse Beek' zijn diverse recent ontwikkelde modellen van verschillende deelnemende instituten in een keten geplaatst en doorgerekend om inzicht te genereren in de te verwachten ontwikkelingen in de komende 50 jaar. Daarbij ging het vooral om mogelijke veranderingen in hydrologie (grondwaterstanden, kwelfluxen), gewasopbrengst, natuurontwikkeling en zoetwatervoorraad. Speciale aandacht in dit project was gericht op de (doorwerking van) onzekerheden in de modelketen, en de relatie met het regionale gebiedsproces.

Elk deelnemend instituut is expert op een deelgebied van de modelketen. In beide cases zijn de deelmodellen zo goed mogelijk afgestemd op de gehele keten. De modellen die de verschillende instituten gebruiken zijn geoptimaliseerd voor het betreffende deelgebied. Dit uit zich bijvoorbeeld in de manier waarop de modellen omgaan met ruimtelijke en temporele schalen. Een model in een modelketen heeft enerzijds invoer nodig van andere modellen uit de keten, en anderzijds is de uitvoer van het model weer invoer van het volgende model. In sommige gevallen bestaat er een wederzijdse koppeling. Zo levert in de case Walcheren het Zoet-Zout grondwatermodel de onderrandvoorwaarde voor het onverzadigde zone model SWAP met het daaraan gekoppelde gewasopbrengstmodel WOFOST, en omgekeerd levert SWAP-WOFOST de invoer voor de bovenrand (nl. de grondwateraanvulling) van het grondwatermodel. In de case Baakse Beek is het gewasgroeimodel WOFOST via MetaSWAP volledig geïntegreerd in het grondwatermodel AMIGO. Daarmee wordt rekening gehouden met de terugkoppelingen die er zijn tussen gewasgroei, verdamping en grondwateraanvulling.

Er is zoveel mogelijk aangesloten bij de modellijn van het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI). Dit maakt dat de gedane inspanningen waardevolle informatie en ervaring levert voor de verdere ontwikkelingen van het NHI (Hoogewoud et al., 2011).

Informatieoverdracht en ketenoptimalisatie

Tijdens het project bleek veel tijd en inzet nodig te zijn om de overdracht van invoer en uitvoer tussen de verschillende modellen (instituten) efficiënt te laten verlopen. Niet alleen wat betreft uitwisselingsformat, maar vooral ook wat betreft ruimtelijke en temporele schalen. Voor een ideale modelketen zou de hele keten geoptimaliseerd moeten worden in plaats van elk model afzonderlijk. Optimalisatie betekent in dit geval dat de modelketen zo ingericht wordt (wat betreft schematisatie, ruimte en tijdschalen enz.) dat er geen informatie en detail verloren gaat bij de overdracht tussen de modellen. De winst van dit project is dat de partners tot op detailniveau inzicht hebben gekregen in de verschillen in modelopzet en de problemen bij de overdracht van informatie van het ene naar het andere model. Er is in het project daadwerkelijk een uitwisseling tot stand gebracht, met onder andere afspraken over dataformats. Met de deelresultaten en opgedane ervaringen kan in volgende samenwerkingen gerichte verbeterpunten worden aangebracht om de modelketen als geheel te optimaliseren. Er wordt vooral gedacht aan het verder ontwikkelen van de gewasgroeimodule (valideren, uitwerken voor meer gewassen). Daarnaast houdt de effectmodule voor natuur nog geen rekening met terugkoppelingen tussen vegetatiegroei, verdamping en grondwateraanvulling.

Het NMDC zou een rol kunnen spelen in het structureren en optimaliseren van modelketen, zodat er een gestructureerd integraal modelinstrumentarium beschikbaar komt voor regionale gebiedsprocessen. Het is echter nog een open vraag of het mogelijk is om een generieke oplossing voor dit probleem te ontwikkelen, of dat het per case maatwerk moet zijn (flexibele opzet modelketen). Wellicht is het meest praktisch om binnen NMDC een informatiesysteem te hebben waar voor de cases (niet alleen de twee binnen dit project) beschreven is op welke manier de informatieoverdracht is aangepakt en wat hierbij de kritische

aandachtspunten zijn. Na verloop van tijd ontstaat er hierdoor een expertsysteem dat generieke conclusies mogelijk kan maken.

Onzekerheden

Alle berekeningen met een model zijn behept met onzekerheden. Ten dele vindt dit zijn oorzaak in de modelstructuur en modelaannamen, maar voor een deel zijn de onzekerheden ook toe te schrijven aan onzekerheden in de invoergrootheden van het model. Een deel van deze invoergrootheden is afkomstig van een voorgaand model in de keten. Een belangrijk winstpunt van dit project is dat de onzekerheden in de keten integraal over de gehele keten in beschouwing zijn genomen. Daarbij is de communicatie over de onzekerheden een belangrijk element geweest. Inzicht in de grootte en de totstandkoming van onzekerheden in de uitvoer van het ene model, is belangrijk voor de onzekerheidsanalyse van het volgende model in de modelketen. Een modelketen zoals is doorgerekend in de twee cases, is voorsnog zodanig omvangrijk en complex dat het niet realistisch is om een volledige onzekerheidsanalyse door te rekenen. Een goede communicatie over de onzekerheden van deelmodellen, draagt bij aan het vaststellen van de belangrijkste oorzaken van onzekerheid in het eindresultaat (het resultaat waarop stakeholders hun beslissingen baseren). Hiermee is met een gevoeligheidsanalyse een schatting gemaakt binnen welke range het eindresultaat zich zal bevinden, en waar de beste mogelijkheden liggen om die range desgewenst te verkleinen. Tegelijkertijd bleven de rekentijden met deze aanpak binnen de perken.

Het NMDC zou zich in de toekomst kunnen richten op een nadere uitwerking van transparante communicatie over onzekerheden. Daarbij gaat het niet alleen om de kansverdeling (of range) van bepaalde variabelen, maar zeker ook om de mogelijkheden om deze onzekerheid te verkleinen. Bij sommige modellen zal het lastig zijn om deze onzekerheid terug te brengen (zoals voor klimaatscenario's), bij andere modellen kan via gedetailleerdere schematisatie al dan niet aangevuld met extra veldmetingen de onzekerheid wel worden verkleind.

Hoe verder?

Gezien de complexiteit van de verschillende modellen is het niet realistisch (en ook niet wenselijk) om de gehele modelketen in zijn algemeenheid fysiek bij het NMDC onder te brengen en centraal te beheren. Een modelketen zal blijven bestaan uit componenten onder verantwoordelijkheid van de experts uit de verschillende instituten. Eventueel kan een stakeholder (bijvoorbeeld de waterbeheerder) bepaalde specifieke modelketens bij NMDC onderbrengen om scenario berekeningen mee uit te voeren. Echter, onderhoud en vernieuwing van de modellen zal altijd binnen de deelnemende instituten plaats moeten vinden. NMDC zou zich vooral moeten richten op het verbinden van de verschillende modellen. Dit betekent dat via het NMDC de meest recente versies van de modellen opvraagbaar moeten zijn, inclusief de ontwikkelde tools voor pre- en postprocessing, modelkoppelingen en transparante informatie over formats, schematisaties, schalen en onzekerheden. Daarnaast kan het NMDC ervaringen met modelketens beschikbaar houden voor nieuwe studies.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Samenvattend kan gesteld worden dat er binnen het innovatieproject veel bereikt is in een korte periode. De lat lag vanaf het begin erg hoog, en dit heeft dan ook een behoorlijke druk gelegd, met name op de eigen inzet van de deelnemende instituten. Met name is veel geïnvesteerd om de koppeling van hydrologische modellen met gewasgroei- en natuurontwikkeling modellen tot stand te brengen. Dit leverde nogal wat onverwachte problemen, waarbij verschillende keren rekenruns voor de aansluiting van de modellen opnieuw moesten worden uitgevoerd. Juist door deze problemen tegen te komen en gezamenlijk te (moeten) verhelpen, hebben de modelleers veel van elkaars modellen geleerd en zijn concrete verbeterpunten en aanbevelingen geïdentificeerd.

De meest prominente innovatie die uit het project is voorgekomen is de ontwikkeling van twee modelketens die de hydrologische processen inclusief diverse terugkoppelingen beschrijven tussen de atmosfeer (klimaat), groei van vegetatie (natuur en landbouwgewassen), ondiepe bodem (bodemvocht, zout, nutriënten), grondwaterstroming en lithologie en vertaling naar doorlatendheden van de diepe ondergrond. Beide modelketens zijn goed in staat om adequaat rekening te houden met klimaatverandering, en zijn daarmee een stap verder dan de modellen die voor effecten van scenario's op landbouw en natuur nu worden ingezet voor het Deltaprogramma.

Modelkoppeling tussen zoet-zout grondwater, bodemvocht en gewasopbrengst

De meerwaarde van de koppeling tussen het geohydrologische Zoet-Zout grondwatermodel (een grondwatermodel voor verzadigd grondwater), SWAP (onverzadigde zone) en WOFOST (potentiele gewasproductie) is dat hiermee op een deterministische manier de fysische relaties in de top van de ondergrond zijn weergegeven in een numerieke benadering. Grondwaterfluxen en chloride concentraties in het verzadigde deel van het topsysteem worden doorgegeven naar de wortelzone (het onverzadigde deel), en daarbovenop wordt de gewasopbrengst berekend.

De meerwaarde van een gekoppelde zoet-zout modellering met detail in de onverzadigde zone en de gewasmodellering zit tevens in het verkrijgen van:

- a) Verbeterde grondwateraanvulling door dynamisch rekenen en opsplitsing van actuele verdamping over bodem, gewas, interceptie en eventueel ponding.
- b) Verbeterde capillaire nalevering door fysische concept voor capillaire stroming (Richards vergelijking voor grondwaterstroming).
- c) Mogelijkheid om gewas-stress te kwantificeren als gevolg van droogte, verzilting en/of natte omstandigheden (inundatie, hoog grondwater of intensieve neerslag).
- d) Mogelijkheid om impact van scenario's (regionaal waterbeheersmaatregelen, klimaateffecten) op opbrengstdervingen (gewas-stress) te analyseren.

Verder is met de koppeling tussen GEOTOP en het geohydrologische Zoet-Zout grondwatermodel voor het eerst meer inzicht gegeven in de doorwerking van onzekerheden in de ondergrond (middels verschillende doorlatendheden) in zoutconcentraties en zoutvrachten in het topsysteem. Een 50-tal geologische realisaties zijn daartoe gemodelleerd, met als resultaat dat het verschil in zoutvracht door verschil in geologie kan oplopen tot minimaal zo'n 20%. Hiermee is gekwantificeerd hoe belangrijk de geologie is voor uiteindelijk gewasopbrengsten.

Modelkoppeling tussen grondwater, bodemvocht en natuur

Voor de berekening van effecten van klimaatverandering op de natuur is de modellentrein SMART2–SUMO2–NTM3 gekoppeld aan AMIGO door uitvoer van AMIGO (neerslagoverschot, potentiële en actuele verdamping, vochtgehalten) om te zetten in invoer voor SMART2–SUMO2–NTM3. Effecten van klimaatverandering worden in deze keten gemodelleerd door het effect van temperatuur en vochtgehalte op de mineralisatie van temperatuur, CO₂ en het verschil tussen potentiële en actuele verdamping op de groei. Verder heeft de verandering van het neerslagoverschot effect op de concentraties in het bodemvocht.

Het uiteindelijke resultaat, de berekende potentiële natuurwaarde, is vergeleken met natuurwaarden die met DEMNAT bepaald zijn op basis van FLORBASE-gegevens. Door schaalverschillen bleek het lastig om deze twee benaderingen goed te vergelijken, maar er is wel een significant positief verband gevonden, met een verklaarde variantie van ruim 20%.

Seizoens-effecten worden voor een groot deel weggemiddeld doordat SMART2–SUMO2 op jaarbasis rekent. De reductiefunctie voor mineralisatie wordt weliswaar op dagbasis uitgerekend, maar die wordt achteraf gemiddeld tot een gemiddelde per jaar. Vooral voor de nattere natuur is het van belang nader onderzoek te doen naar de vraag of een dergelijke aanname wel voldoet. Moet SMART2–SUMO2 worden aangepast zodat het met kortere tijdstappen kan rekenen of volstaat het om alleen het effect van de hydrologie op kortere tijdbasis te bepalen? Ook kan de vraag gesteld worden of de GVG nog een goede maat is voor het effect van vocht op de natuurwaarde, zoals nu nog gebruikt in NTM3. Zo leidt opwarming tot een vervroeging van het groeiseizoen, tot het vaker optreden van weersextremen (afwisseling nat-droog), en tot een sterkere verdamping met gevolgen voor de vochtvoorraad in de wortelzone. SMART2–SUMO2 zijn inmiddels klimaatbestendig gemaakt en gebruiken de verdamping en het vochtgehalte in plaats van de GVG.

Kwantitatieve analyse onzekerheden

De gedane kwantitatieve analyse biedt een goede basis voor het opzetten van nadere kwantitatieve onzekerheidsanalyses. Rekening- en projectbudget-beperkingen maakten een complete analyse van de doorwerking van deze onzekerheidsbronnen op de modeluitkomsten echter nog niet haalbaar. Wel zijn op onderdelen kwantitatieve onzekerheidsanalyses uitgevoerd, bijvoorbeeld met het hydrologische model AMIGO in de Baakse beek en met het Zoet-Zout grondwatermodel voor Walcheren waarbij rekenscenario's zijn uitgevoerd om na te gaan hoe onzekerheden in doorlatendheids-karakteristieken van ondergrond doorwerken op de hydrologische output.

- In het algemeen geldt wel dat de gehele modelketen te rekenintensief is om binnen redelijke tijd een volledige onzekerheidsanalyse integraal uit te voeren.
- Van verschillende grootheden is een kansverdeling niet goed bekend (kwantitatief).
- Modellen en modelketen kunnen niet worden gevalideerd voor de periode met een andere klimaat input. De invloed hiervan is onduidelijk.
- Conversiefouten als gevolg van verschillende rekengrids zijn nog niet goed geanalyseerd. Ook de invloed van diepte waarop uitwisseling tussen het gewasmodel en het hydrologische model plaatsvindt is onbekend.

Kwalitatieve analyse onzekerheden

In het begin van het project is de web-based versie van de PBL-leidraad voor 'Omgaan met Onzekerheden' gebruikt om via quick-scan's in beeld te krijgen welke onzekerheden er spelen rond de casussen en om te reflecteren hoe hiermee om te gaan. In de praktijk bleek het invullen van een leidraadsessie echter - door de brede scope van de vraagstelling in de leidraad - meer tijd te vergen dan de term 'quick-scan' deed vermoeden en bovendien bleek het aanvullen van informatie operationeel lastig in teamverband door beperkte edit-faciliteiten van de web-based applicatie. Een interactievere opzet van leidraad-gebruik en een meer gestructureerde inbedding in de project-sturing en -uitvoering kan de effectiviteit en doelmatigheid van het instrument verhogen.

Ter aanvulling op de PBL-leidraad is ook een kwalitatieve onzekerheidsanalyse uitgevoerd, waarbij specifiek gekeken is naar de belangrijkste aannemens die aan de modelketen ten grondslag liggen. Via een internet survey bij betrokken experts/modelleurs is vervolgens gepeild wat de onderbouwing en beperkingen van deze aannemens zijn inclusief de mogelijke invloed hiervan op de uiteindelijke berekende doelvariabelen. Dit levert nuttige inzichten in wat er mogelijk buiten beeld gebleven is en in de toekomst extra aandacht verdient om de analyse verder te verbeteren/versterken. Het subjectief karakter van deze analyse kan verder verkleind worden door een meer interactieve opzet, bijvoorbeeld in de vorm van een workshop.

Visualisaties

In het werkproces voor de Baakse Beek was het erg lastig om innovatieve visualisaties te ontwikkelen. Enerzijds omdat de modelresultaten pas in een laat stadium beschikbaar kwamen, niet veel eerder dan een week voor de terugmelding tijdens een workshop (20 maart 2012) met de stakeholders! Anderzijds omdat de stakeholders vanwege het innovatieve karakter van de modelketen geen of weinig behoefte hadden aan innovatieve (bijvoorbeeld interactieve) visualisaties; zij hadden namelijk vooral behoefte aan inhoudelijke evaluatie van de modelresultaten (hoe betrouwbaar, hoe te vergelijken met gedane studies e.d.).

8.2 Aanbevelingen

Hoewel beide modelketens goede perspectieven bieden voor verdere toepassing, zijn er nog wel een aantal aandachtspunten.

Toepassingen en proces

Wat betreft de toepassing van de projectresultaten lijkt een verdere ontwikkeling van de modelketen voor gebruikt binnen het Deltaprogramma voor de hand te liggen. De meerwaarde van de hier ontwikkelde ketens, en de verkregen inzichten dienen geëvalueerd te worden, alsmede de specifieke eisen vanuit het Deltaprogramma.

Tijdens uitvoering van het project is vaak gebleken dat bij opstellen van een integrale modelketens de communicatie cruciaal is. Samenwerken op afstand is dan ook ondanks de moderne communicatiemiddelen hoe dan ook een handicap. Procesmatig is de belangrijkste aanbeveling dan ook dat in vervolprojecten bij aanvang de mogelijkheid voor een gemeenschappelijke projectkamer wordt bekeken. Fysiek samenkomen van onderzoekers en simultaan werken aan problemen is nog altijd de beste garantie voor goede afstemming en samenwerking. Bovendien is het voor de toepassingen van de modellen ook (veel) praktischer omdat fouten in de aansluiting op elkaars data eerder aan het licht komen en de omvangrijke data gemakkelijker en directer kunnen worden uitgewisseld. Dit laatste ook omdat de surfgroepen van het NMDC veel te beperkt en niet-flexibel zijn voor dit soort toepassingen.

Modelleren gewasopbrengsten landbouw

Zowel in west-Nederland, waar sprake is van ondiep zout grondwater, als in midden- en hoog-Nederland, verdient het de aanbeveling om de modelketen (Meta)SWAP – WOFOST verder te ontwikkelen. Dit door stapsgewijs (per gewas) de parameters van het gewasgroeimodel te ijken op basis van veldmetingen waarbij naast de gewasopbrengst ook de vochttoestand van de bodem en grondwaterstanden in het verloop van de seizoenen zijn gemeten. Bij voorkeur omvatten de percelen waar dergelijke metingen beschikbaar zijn verschillende toestanden qua neerslag (meerdere jaren) en bemesting (hoge of lage bemesting).

Voor de modellering van de gewasopbrengsten in West-Nederland zijn de zoetwater-stijghoogten en chlorideconcentraties van het zoet-zout grondwatermodel op -5m ten opzichte van het maaiveld gebruikt als invoer/randvoorwaarde gehanteerd voor SWAP-WOFOST. SWAP-WOFOST is namelijk doorgerekend als een bodemprofiel van 0 tot 5 m-mv. De keuze om op 5 meter de modelkoppeling tot stand te brengen is mede gebaseerd op resultaten van discussies in NHI-kader. Daarbij werd aanbevolen om voor het grootste deel van

Zeeland de koppeling tussen het regionale grondwatermodel (NHI) en de nutriënten modellering (Stone met Swap/Animo) op een diepte van vijf meter te laten plaatsvinden (Massop, mondelinge mededeling; rapport Peter Jansen et al, in voorbereiding).

Onderzoek (met monitoringscampagnes en gedetailleerde numerieke zoet-zout modellen) in het topsysteem van het grondwatersysteem in het Zeeuwse kustgebied toont aan dat dunne regenwaterlenzen een zogenaamde zoetwaterbuffer vormen en dat juist de fluxen en concentraties in de bovenste meters flink afwijken van de waarden op -5m (Oude Essink et al., 2009; De Louw et al., 2011). Het verdient daarom aanbeveling om voor de modelkoppeling na te gaan welke verschillen in de berekende resultaten optreden als de overgang van de modellen wordt gevarieerd van bijvoorbeeld 8 m-mv tot 2 m-mv en hoe deze verschillen worden veroorzaakt. Op voorhand zullen verschillen bij sterke zout-gradiënten optreden omdat SWAP wel het transport van chloride berekend maar in tegenstelling tot het zoet-zout grondwatermodel (MOC DENSE) geen rekening houdt met stroming door verschillen in dichtheid. Op basis van deze analyse zouden richtlijnen kunnen worden afgeleid om te bepalen op welke diepte de modelkoppeling het meest representatief is voor de werkelijke situatie, gegeven bepaalde (geohydrologische) condities.

Een andere aanbeveling is om bij een volgende modelkoppeling tussen SWAP-WOFOST en het zoet-zout grondwatermodel een kleinere gridgrootte aan te houden. Nu is vanuit pragmatische overwegingen voor het Zoet-Zout grondwatermodel van Walcheren een model met gridcellen van 100 x 100m aangehouden. Afgaande op gedetailleerde numerieke zoet-zout modellen die zijn ontwikkeld voor de bovenste 10m van het topsysteem (De Louw et al., 2011), is het aannemelijk dat een kleinere ruimtelijke resolutie de stijghoogten en zoutvrachten naar de onverzadigde zone beter beschrijft. Gezien de ervaring die is opgedaan met deze deelmodellen geeft een model met gridcellen van 10*10m² een meer betrouwbaar beeld van deze variabelen (Harbo et al., 2012). Ook wordt aanbevolen om de gridgrootte van SWAP-WOFOST gelijk te houden aan die van het Zoet-Zout grondwatermodel. Nu is vanuit pragmatisch oogpunt (rekeningtijden e.d.) een gridgrootte aan gehouden van 250 x 250m. Overigens moet daarbij worden bedacht dat het doen van uitspraken over berekende gewasopbrengsten op een detailniveau die veel gedetailleerder is dan 250 x 250 m niet verantwoord is, gelet op de onzekerheden en gebrek aan adequate veldinformatie op dit detailniveau.

Op dit moment is een onderzoekstraject in gang gezet om de HELP-tabellen met behulp van SWAP te vervangen omdat deze niet geschikt meer zijn voor het huidige en toekomstige klimaat en voor natschade geen rekening houden met zuurstofstress. Deze tabellen worden gebruikt om effecten van hydrologische ingrepen op gewasopbrengstveranderingen te bepalen. Aanbevolen wordt om parallel aan dit traject te werken aan de combinatie SWAP-WOFOST om zodoende beter rekening te houden tussen de terugkoppelingen tussen gewasgroei en de vochtuithouding. Aanbevolen wordt om hierbij ook adequate velddata voor validatie te verzamelen, zodat op termijn de lijn (Meta)SWAP-WOFOST betrouwbaar ingezet kan worden als landelijk gedragen (en internationaal geaccepteerd) instrument om effecten van ingrepen op gewasopbrengsten te kunnen kwantificeren.

Modelering vegetatie natuur

Voor natuur werkt de modelkoppeling, maar nog niet eenvoudig. Er moeten nu aparte programma's gedraaid worden om de uitvoer van het hydrologische model AMIGO om te zetten naar invoer voor SMART2-SUMO2, en ook inzet van NTM3 vraagt om extra bewerkingen. Het verdient aanbeveling dit verder te stroomlijnen en te automatiseren. In een ander NMDC-project ('Verbeterde uitwisseling van gegevens tussen modellen gebruikt in klimaatstudies) is hiertoe een aanzet gedaan, maar door een andere rekenvolgorde en opslagcapaciteit is de aansluiting nog niet wezenlijk veranderd.

Ook is de modelkoppeling een koppeling achteraf, dat wil zeggen dat er geen terugkoppeling is tussen vegetatiegroei en hydrologie. Het effect daarvan kan groot zijn, bijvoorbeeld als door vochtgebrek de vegetatie minder groeit. Het is wenselijk deze terugkoppeling in te bouwen, waarbij de inspanning wel in verhouding

moet zijn tot de beoogde meerwaarde. Dit vraagt om een nadere analyse naar de invloed van die terugkoppeling tussen vegetatie en hydrologie voor verschillende situaties en verschillende typen vegetatie.

Binnen deze studie is een beperkte analyse gemaakt van modeluitkomsten met AMIGO–SMART2–SUMO2–NTM3 en gemeten natuurwaarden (FLORBASE). Het is aan te raden een nadere studie uit te voeren naar de validiteit en bruikbaarheid van dit instrumentarium in relatie tot belangrijke vragen voor de houdbaarheid van natuurdoelen in grondwaterafhankelijke systemen. Tot nu toe is SMART2–SUMO2–NTM3 wel gevalideerd, maar het gaat veelal om droge ecosysteemttypen waarbij sprake is van een meer eenvoudige hydrologie. Validatie kan door het vergelijken van SMART2–SUMO2–NTM3-uitkomsten met gemeten waarden, met de mening van velddeskundigen (expert judgement) en door vergelijking met andere natuureffect-modellen (bijvoorbeeld PROBE, in ontwikkeling binnen het project CARE⁸).

Aanbevolen wordt om het modelinstrumentarium verder aan te passen om a) terugkoppelingen in te bouwen tussen vegetatiegroei en de hydrologie (vooral verdamping) en b) betere schattingen te kunnen doen van de waterkwaliteit in de wortelzone. Aanbevolen wordt om hierbij analoog aan het NHI toe te werken aan één landelijke modelinstrumentarium maar dan gericht op regionale/lokale schaal waarmee de effecten van ingrepen op de terrestrische natuur kunnen worden voorspeld. In het kader van het programma Kennis voor Klimaat worden hiertoe de eerste stappen gezet.

De huidige resultaten dienen nader besproken te worden zodat helder wordt wat de betekenis is van deze studie voor het gebiedsproces in de Baakse beek en hoe de opgedane kennis kan worden geborgd en overgedragen.

(Gebrek aan) meetgegevens

In de hydrologie loopt men gezien de niet-lineariteit van de betrokken processen en de heterogeniteit van de systemen altijd tegen een schaalprobleem aan. Om hier op de juiste manier rekening mee te kunnen houden, is het essentieel dat modelberekeningen op verschillende schaalniveaus (lysimeter, puntmonster, veld, bedrijf, regio, etc.) aan metingen worden getoetst. Voor de vochtuishouding in de ondiepe bodem is met deze studie duidelijk geworden dat het in Nederland ontbreekt aan adequate monitoring. Aanbevolen wordt om in te zetten op lysimeters, want dit is van belang voor het opbouwen van onze kennis over de condities en processen in de ondiepe bodem die bepalend zijn voor gewasopbrengsten, vegetatie ontwikkeling, verdamping, capillaire nalevering en waterkwaliteit in de wortelzone.

Visualisaties

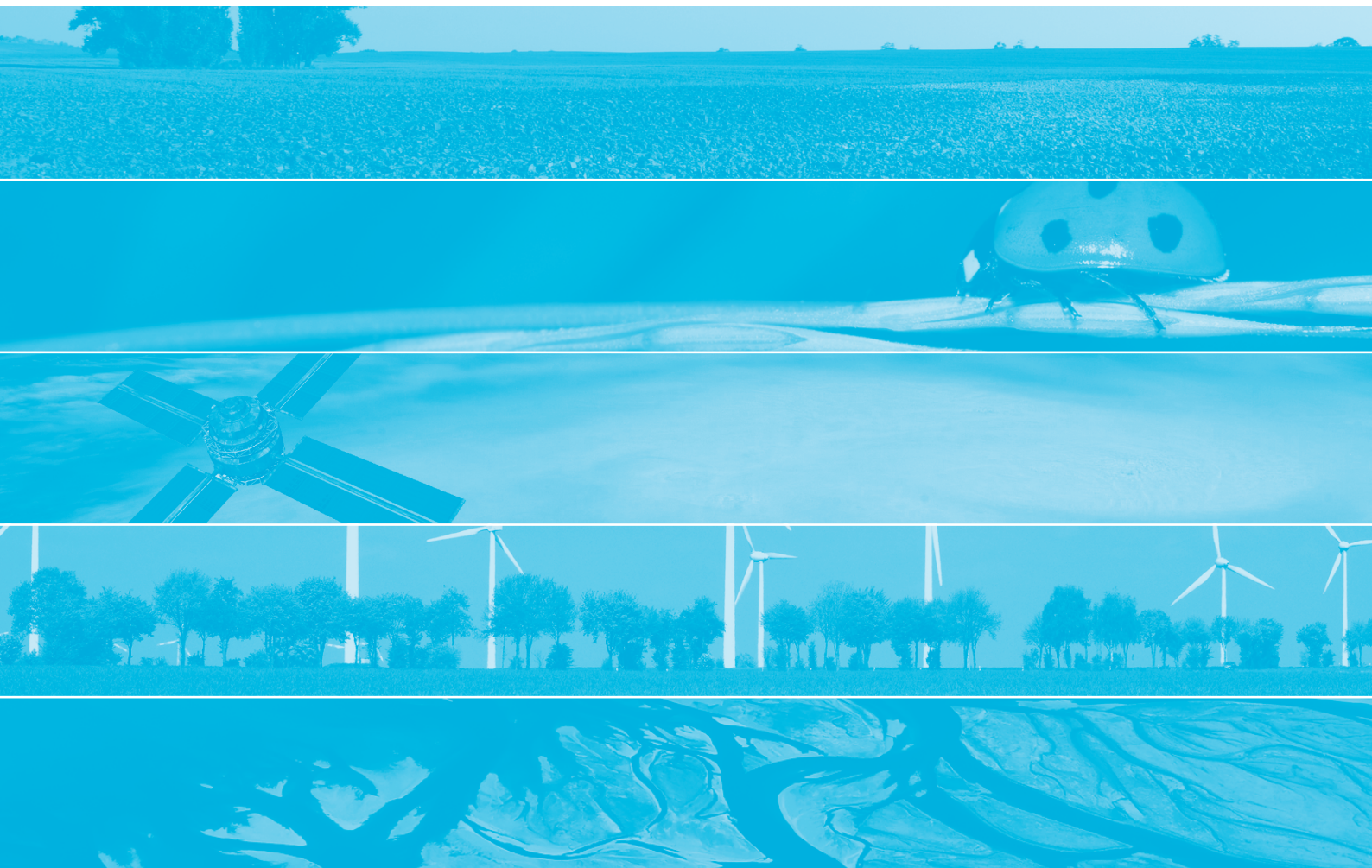
Interactieve visualisaties kunnen beter en effectiever worden opgezet als de ontwikkelde modelketens meer uitgekristalliseerd en gerapporteerd zijn. Wellicht dat nadat de resultaten zoals hier al vrij standaard zijn gepresenteerd en bediscussieerd, in volgende werksessies de stakeholders wellicht ook wensen zullen hebben om effecten van diverse beleidsopties met de modelketen te verkennen en de resultaten willen relateren aan bestaande (kaart)beelden, gebiedskenmerken en voorziene ontwikkelingen daarin.

⁸ Link naar CARE: <http://knowledgeforclimate.climateresearchnetherlands.nl/climateadaptationforruralareas>

Referenties

- Baaren, E.S. van, G.H.P. Oude Essink, G.M.C.M. Janssen, R. Heerdink en B. Goes, 2012. *Verzoeting Verzilting grondwater in de provincie Zeeland*. Concept rapportage 3D regionaal zoet-zout grondwater model.
- Bakker, A. en J. Bessembinder, 2012. *Integraal Waterbeheer - kritische zone & onzekerheden NMDC-Innovatieproject, deelresultaat referentie meteo*.
- Bakker, A.M.R. en J.J.E. Bessembinder, 2012. *Time series transformation tool: description of the program to generate time series for the future for the KNMI'06 climate scenarios*. Technisch rapport TR-326. KNMI, De Bilt.
- Groot, A., E. van Baaren, S. Werners en R. van Ek., in voorbereiding, *NMDC kritische zone en onzekerheden, werkpakket 1 stakeholderanalyse. NMDC innovatieproject – Integraal waterbeheer, van kritische zone tot kritische onzekerheden*.
- Harbo, M.S., J. Pedersen, R. Johnsen en K. Petersen (eds), 2012. *The CLIWAT handbook: Groundwater in a future climate*. www.cliwat.eu. 184 p.
- Hoogewoud, J.C., A.A. Veldhuizen en G. Prinsen, 2011. *NHI toetsing: ontwikkeling en toepassing van methode voor toetsing van NHI 2.1, inclusief vergelijking met NHI 2.0*. NHI rapport 1203516-000.
- Kloprogge, P., J.P. van der Sluijs en A.C. Petersen, 2011. *A method for the analysis of assumptions in model-based environmental assessments*. Environmental Modelling & Software 26 (2011) 289–301, doi:10.1016/j.envsoft.2009.06.009
- Kroes, J.G. en I. Supit, 2011. *Impact analysis of drought, water excess and salinity on grass production in The Netherlands using historical and future climate data*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 144(1), 370–381. doi:10.1016/j.agee.2011.09.008
- Kroes, J.G., I. Supit en P. Schipper, 2012. *Water management, salinity and crop growth in the Dutch Delta under changing climate conditions*. IWA World Congress on Water, Climate and Energy, Dublin, May 13-18, 2012 (p. 1). Dublin.
- Linden, W. van der, W. Berendrecht, A. Velthuis, H. Massop, A. Blonk, A. Heuven en W.J. Zaadnoordijk, 2008. *AMIGO Actueel Model Instrument Gelderland Oost*. Deltares/TNO rapport, 2008-U-R0749/A.
- Louw, P.G.B. de, S. Eeman, B. Siemon, B.R. Voortman, J. Gunnink, E.S. van Baaren en G.H.P. Oude Essink, 2011. *Shallow rainwater lenses in deltaic areas with saline seepage*. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 8, 7657-7707.
- Oude Essink, G.H.P., 2001. *Density dependent groundwater flow: Salt water intrusion and heat transport*. lecture notes, 151 pp., Universiteit Utrecht, Utrecht, Netherlands.
- Oude Essink, G.H.P., P. de Louw, S. Stevens, B. de Veen, C. de Prevo, V. Marconi en B. Goes, 2009. *Meetcampagne naar het voorkomen van regenwaterlenzen in de provincie Zeeland*. 2007-U-R0925/A, 132p.
- Oude Essink, G., M. Faneca Sanchez, R. van Ek, A. Groot, J. Kroes, I. Supit, P. Schipper, F. van Geer, E. Simmelink, P. Janssen, J. van der Sluijs, J. Bessembinder en A. Bakker, in voorbereiding. *NMDC-Innovatieproject van Kritische zone tot Kritische; Onzekerheden: case studie Walcheren. NMDC rapport 1203554.014*.
- Van der Sluijs J.P. en P.H.M. Janssen, 2012. *NMDC kritische zone en onzekerheden, werkpakket 4 Deelrapport Kwalitatieve Onzekerheidsanalyse Baakse Beek. NMDC innovatieproject - Integraal waterbeheer, van kritische zone tot kritische onzekerheden*. Universiteit Utrecht.
- Van Ek, R. (ed.), G. Janssen, M. Kuijper, A. Veldhuizen, W. Wamelink, J. Mol, A. Groot, P. Schipper, J. Kroes, I. Supit, E. Simmelink, F. van Geer, P. Janssen, J. van der Sluijs en J. Bessembinder, 2012. *NMDC-Innovatieproject van Kritische zone tot Kritische; Onzekerheden: case studie Baakse beek, NMDC rapport 1205952*. 191 p.

- Vernes, R.W. en Th.H.M. van Doorn, 2005. *Van Gidslaag naar Hydrogeologische Eenheid. Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II*. TNO rapport NITG 05-038-B. TNO, Utrecht, 69 pagina's+bijlagen. Zie ook: www.dinoloket.nl/data/download/maps/resources/Rapport_NITG_05-038-B0115_netversie.pdf
- Van Walsum, P. E. V. en I. Supit, 2012. *Influence of ecohydrologic feedbacks from simulated crop growth on integrated regional hydrologic simulations under climate scenarios*. Hydrology and Earth System Sciences, 16(6), 1577–1593. doi:10.5194/hess-16-1577-2012.
- Van Walsum, P. en A.A. Veldhuizen, 2011. *MetaSwap_V7_2_0. Rapportage van activiteiten voor certificering met Status A*. WOT-werkdocument 276. Wageningen. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- Wamelink, G.W.W., H.F. van Dobben en F. Berendse, 2009a. *Vegetation succession as affected by decreasing nitrogen deposition, soil characteristics and site management: a modelling approach*. Forest Ecology and Management 258: 1762-1773.
- Wamelink, G.W.W., H.F. van Dobben, J.P. Mol-Dijkstra, E.P.A.G. Schouwenberg, J. Kros, W. de Vries en F. Berendse. *Effect of nitrogen deposition reduction on biodiversity and carbon sequestration*. Forest Ecol. Manage. 2009b; 258: 1774-1779.
- Wamelink, G.W.W., C.J.F. ter Braak en H.F. van Dobben, 2003. *Changes in large-scale patterns of plant biodiversity predicted from environmental economic scenarios*. Landscape Ecology 18: 513-527.
- Wamelink, G.W.W., C. ter Braak en H. van Dobben, 1998. *De potentiële natuurwaarde van de EHS. Natuurwaardering op basis van abiotische omstandigheden. Het Natuur Technisch Model*. Landschap 15: 145-156.
- Wamelink, G.W.W., H.J.J. Wieggers, J.C.H. Voogd en J.P. Mol-Dijkstra, 2011. *Klimaatbestendigheid van de EHS 2. Simulatie van de modellen NHI-SMART2-SUMO2 voor klimaat scenario's*. Wageningen, Alterra-rapport 2136.
- Wamelink, G.W.W., L.M.W. Akkermans, D.J. Brus, G.B.M. Heuvelink, J.P. Mol-Dijkstra en E.P.A.G. Schouwenberg, 2011. *Uncertainty analyses of SMART2-SUMO-P2E-MOVE4. The Nature planner soil and vegetation model chain*. Wageningen. WOT Natuur en Milieu, WOT-rapport 108.
- Wamelink, G.W.W., R. Wieggers, G.J. Reinds, J. Kros, J. P. Mol-Dijkstra, M. van Oijen en W. de Vries, 2009. *Modelling impacts of changes in carbon dioxide concentration, climate and nitrogen deposition on carbon sequestration by European forest and forest soils*. Forest Ecology and Management 258: 1794–1805.
- Witte, J.P.M., B. Kruijt en C. Maas, 2006. *Effecten van CO2-toename op verdamping*. KIWA: KWR 06.003.



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

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

Meer informatie: www.wageningenUR.nl/alterra