

NMDC-Innovatieproject

**Van Kritische zone tot Kritische
Onzekerheden: case studie Baakse beek**



NMDC-Innovatieproject

Van Kritische zone tot Kritische Onzekerheden: case studie Baakse beek

Auteurs

R. van Ek, 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 & J. Bessembinder



1205652-000

Titel

NMDC-Innovatieproject

Van Kritische zone tot Kritische Onzekerheden: case studie Baakse beek

Opdrachtgever

NMDC

Provincie Gelderland

Waterschap Rijn en IJssel

Project

1205652-000

Kenmerk

1205652-000-BGS-0002

Pagina's

148

Trefwoorden

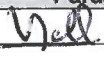
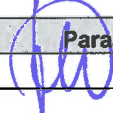
Regionale modellering, hydrologie, landbouw, natuur, klimaatverandering, onzekerheden

Samenvatting

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 de samenwerking tussen modellenmakers en modelengebruikers te stimuleren, en het benodigde modelleninstrumentarium vorm en inhoud te geven. Naast het koppelen van modellen, het versterken van de samenwerking tussen de NMDC partners (PBL, Deltares, Alterra, TNO en KNMI), en het versterken van de relatie tussen modelontwikkeling en modelgebruik is specifieke aandacht besteed aan het omgaan met onzekerheden. Dit ter ondersteuning van het regionale besluitvormingsproces in relatie tot klimaatverandering. Er zijn twee cases onderscheiden, een case laag Nederland met een focus op landbouw en verzilting, en een case hoog Nederland met focus op landbouw en natuur in relatie tot de waterhuishouding. Dit rapport doet verslag van de case voor hoog Nederland, waarbij het stroomgebied van de Baakse beek is gekozen als pilotgebied. Het modelinstrumentarium sluit voor een deel aan op de behoefte van de regionale belanghebbenden. Meer aandacht dient ook uit te gaan naar het simuleren van risico's op wateroverlast c.q. waterschade. Er zijn diverse onzekerheden aan te geven in het gerealiseerde instrumentarium. De onzekerheid over de ontwikkeling in het regionale klimaat blijft evenwel het meest bepalend voor de toekomstprojecties.

Referenties

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 & J. Bessembinder, 2012. NMDC-Innovatieproject: van Kritische Zone tot Kritische Onzekerheden: case studie Baakse beek. NMDC rapport 1205952 in het kader van Innovatieproject Integraal Waterbeheer - kritische zone & onzekerheden.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	Dec. 2012	R. van Ek		W. J. de Lange		H. Duel	

Status

definitief

Samenvatting

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). Het project had als doelstelling 1) de samenwerking tussen modellenmakers en modelengebruikers te stimuleren, en 2) het benodigde modelleninstrumentarium vorm en inhoud te geven. Naast het koppelen van modellen, het versterken van de samenwerking tussen de NMDC partners (PBL, Deltares, Alterra, TNO en KNMI), en het versterken van de relatie tussen modelontwikkeling en modelgebruik is specifieke aandacht besteed aan het omgaan met onzekerheden. Dit ter ondersteuning van het regionale besluitvormingsproces in relatie tot klimaatverandering. Er zijn twee cases onderscheiden, een case laag Nederland met een focus op landbouw en verzilting, en een case hoog Nederland met focus op landbouw en natuur in relatie tot de waterhuishouding. Dit rapport doet verslag van de case voor hoog Nederland, waarbij het stroomgebied van de Baakse beek is gekozen als pilotgebied.

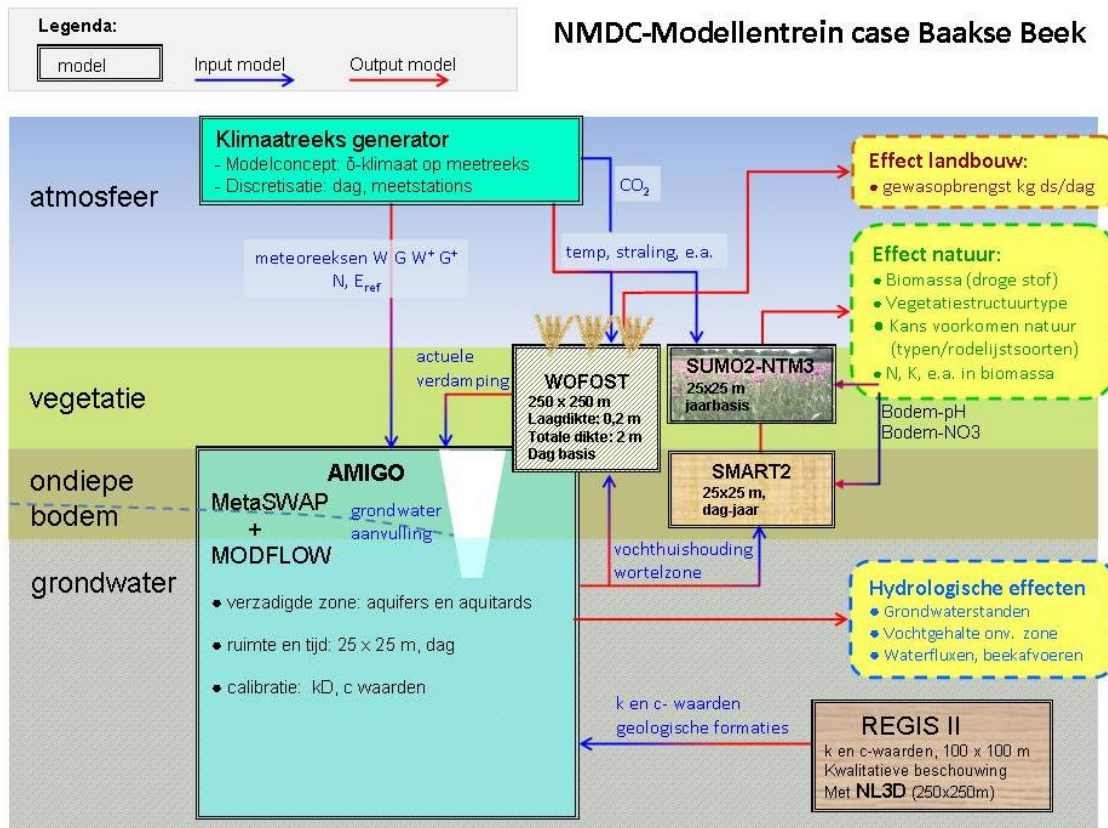
Stakeholderinterviews zijn gebruikt om inzicht te krijgen in: ‘welke type(n) informatie stakeholders tot op heden gebruiken bij hun besluitvorming op het gebied van zoetwaterschaarste, verdroging en/of natschade, en in hoeverre men gebruik maakt van wetenschappelijke informatie’ en ‘welke graadmeters (indicatoren) gebruikt worden om te bepalen of een bepaalde maatregel effectief is’. Hiervoor zijn met een of meer vertegenwoordigers van provincie, waterschap, LTO en natuurmonumenten gesprekken gevoerd.

Parallel hieraan is gewerkt aan de ontwikkeling van een integraal instrumentarium voor regionale besluitvorming waarbij verschillende modellen beschikbaar bij de NMDC instituten aan elkaar zijn gekoppeld. Daarbij is specifiek rekening gehouden met de behoefte om met dit instrumentarium regionale klimaatscenario's te kunnen doorrekenen.

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. Tevens is bij de stakeholderanalyse gevraagd hoe belanghebbenden aankijken tegen het gebruik van modellen om onzekerheden ten aanzien van klimaatverandering in beeld te brengen, of er voldoende aansluiting is vanuit de bestaande modellen op hun informatiebehoefte en hoe die aansluiting verbeterd kan worden. Uiteindelijk is onzekerheid 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.

Modelinstrumentarium

Binnen dit project is een koppeling gelegd tussen regionale klimaatscenario's (van KNMI), het geohydrologische model AMIGO (Deltares/Alterra), het gewasproductie model WOFOST (Alterra) en het natuur-effectmodel SMART2-SUMO2-NTM3 (Alterra). Het KNMI heeft in 2006 voor Nederland regionale klimaatscenario's opgesteld welke in 2009 nog zijn onderzocht op validiteit in relatie tot recente wetenschappelijke ontwikkelingen. In deze NMDC studie zijn regiospecifieke en op maat gemaakte klimaatreeksen opgesteld waarbij rekening is gehouden met de huidige inzichten dat klimaatverandering niet uniform hoeft te zijn over Nederland. Zo is de verwachting dat in de kustregio de neerslagextremen in de zomer meer kunnen toenemen dan in het binnenland. 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.



Het modelinstrumentarium voor de Baakse beek

De klimaatreeksen vormen invoer voor het geohydrologisch model AMIGO waarmee een referentiesituatie is doorgerekend (1981 t/m 2010, dagbasis) en vier klimaatscenario's (G, G+, W, W+). Het geohydrologisch model AMIGO beslaat de hele Achterhoek, maar bevat nog niet een specifiek oppervlaktewatermodel. Nieuw is dat het gewasproductiemodel WOFOST 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. Voor klimaatscenario's is het wenselijk om deze processen mee te nemen. Tevens is de onverzadigde zone module CAPSIM vervangen door MetaSWAP en is het model opnieuw gekalibreerd. Dit heeft tot een significante modelverbetering geleid, met betere perspectieven voor het uitbreiden van de functionaliteit. 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 verder niet meegenomen in de klimaatscenario's.

Voor wat betreft de hydrologie geldt dat het AMIGO model voldoet voor het berekenen van grondwaterstanden en kwelfluxen op regionale schaal. Wel verdient het de aanbeveling om de terugkoppeling tussen landgebruik en waterhuishouding via het koppel AMIGO-WOFOST verder uit te bouwen, te kalibreren en valideren. Nu is alleen voor grasland en aardappelen een dergelijke koppeling uitgevoerd, maar het is wenselijk dat dit naar andere gewassen wordt uitgebreid (o.a. maïs). Tevens ontbreekt het nu aan gecombineerde meetgegevens van vochthuishouding en gewasproductie waardoor WOFOST niet goed is te parametriseren. Aanbevolen wordt om hier een gerichte monitoring op in te zetten.

Indien AMIGO ingezet dient te worden 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 werkpakket 2.3) voor de Tungelroyse beek en zouden op termijn ook geïmplementeerd kunnen worden in AMIGO. Doordat CAPSIM is vervangen door MetaSWAP zijn deze acties ook goed mogelijk.

Wat betreft 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. De modelkoppeling is nu ook een koppeling achteraf, wat wil zeggen dat er geen terugkoppeling is tussen vegetatiegroei en hydrologie. Inhoudelijk gezien zou het wenselijk zijn deze terugkoppeling in te bouwen, waarbij wel moet worden nagegaan of de inspanning in verhouding staat tot een beoogde meerwaarde. Qua modeluitkomst bleek dat de verschillen in potentiële natuurwaarde tussen de referentie en de toekomstscenario's bepaald het natuureffect model relatief klein zijn en lopen van grofweg -0.1 tot 0.15. Dit komt overeen met een maximaal verschil van ongeveer 1% van de absolute natuurwaarde en lijkt een opvallend lage waarde gezien de gesimuleerde veranderingen in meteorologie.

Ten aanzien van validatie van het natuureffect model SMART2-SUMO2-NTM3 geldt dat tot nu toe dergelijke studies veelal zijn uitgevoerd voor droge ecosystemen met een eenvoudige hydrologie. In deze studie is een beperkte vergelijking gemaakt tussen modeluitkomsten (potentiële natuurwaarden) van AMIGO-SMART2-SUMO2-NTM3 en natuurwaarden gekoppeld aan natte –en vochtige ecosystemen bepaald 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 beleids- en beheersvragen zoals de lange termijn houdbaarheid van natuurdoelen.

Naast een analyse per model is een (kwalitatieve) onzekerheidsanalyse uitgevoerd voor het gehele modelinstrumentarium. Daaruit blijkt dat het klimaatscenario de meest bepalende factor is in de onzekerheid van uitspraken gebaseerd op dit instrumentarium, gevolgd door onzekerheden in landgebruik. Het landgebruik hangt weer sterk samen met het gedrag van de agrariërs in relatie tot sociaal-economische ontwikkelingen. Daarnaast is onzeker wat er met de natuurlijke vegetatie gebeurt bij oplopende droogtestress. Binnen deze studie kon dit effect onvoldoende in beeld worden gebracht omdat het natuurmodel met jaargemiddelden rekent.

Stakeholderanalyse

Veel parameters die kunnen worden gesimuleerd met het instrumentarium sluiten ook aan op de wensen van de stakeholders, maar er zijn wel accentverschillen tussen de belanghebbenden. Zo heeft het waterschap en LTO aangegeven meer behoefte te hebben aan informatie over de risico's op wateroverlast, terwijl provincie en natuurmonumenten meer gericht is op watertekorten. Het waterschap maakt veel gebruik van het grondwatermodel AMIGO en dit model wordt ook naar tevredenheid ingezet binnen het gebiedsproces herinrichting Baakse Beek. De ruimtelijke resolutie blijkt goed bruikbaar te zijn voor regionale planvorming. Agrarische ondernemers maken relatief minder gebruik van informatie afkomstig van modellen en meer van eigen ervaring en inzichten afkomstig uit 'real life' projecten. Ook kijken zij minder ver vooruit dan het waterschap en provincie.

Voor landbouw en waterschap is een koppeling tussen het grondwatermodel en gewasopbrengst interessant is indien het informatie levert over hoe lang een droge periode gaat duren zodat een agrariër zijn berekening beter kan plannen met oog op optimale

gewasgroei. Ook hier werd een uitvoer resolutie gewenst van 25x25 m, maar hier schiet het instrumentarium nog tekort. Gezien het experimentele karakter van de modelkoppeling worden de uitkomsten ten aanzien van gewasopbrengsten in deze studie zijn nog als onvoldoende betrouwbaar beschouwd voor beleidstoepassingen.

Provincie en natuurmonumenten benadrukten het belang van informatie over het herstel van het watersysteem (kwel en grondwaterstanden) voor de vertaling naar welke natuurtypen verwacht kunnen worden. Hierbij ging het meer om het creëren van de randvoorwaarden om een palet aan natuurtypen te kunnen realiseren dan om wat daadwerkelijk gerealiseerd wordt.

Een algemene opmerking met betrekking tot de informatiebehoefte is dat de respondenten benadrukten het belangrijk te vinden dat er één model/systeem ontwikkeld wordt dat alle belangrijke aspecten dekt en gebruikt kan worden c.q. wordt door alle partijen. Het huidige ontwikkelde instrumentarium kan daartoe een aanzet zijn, maar het is duidelijk dat er nog veel hiaten zijn ten aanzien van gewenste functionaliteit en betrouwbaarheid. Dit geldt deels voor het hydrologisch model, maar zeker ook voor de effectmodellen gericht op landbouw en natuur.

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Probleemomschrijving	1
1.2 Doelstelling van het project	2
1.3 Afbakening	2
1.4 Projectteam	2
1.5 Leeswijzer	2
2 Beschrijving projectgebied	3
2.1 Topografie	3
2.2 Ondergrond en grondwater	6
2.3 Oppervlaktewater	7
2.4 Landbouw	9
2.5 Natuur	10
3 Stakeholderanalyse	15
3.1 Inleiding	15
3.2 Aanpak	15
3.3 Resultaten	16
3.3.1 Probleemperceptie	16
3.4 Informatiegebruik en –behoeften	18
3.4.1 Informatiegebruik: nu en in verleden	18
3.4.2 Informatiebehoefte	19
3.4.3 Klimaat	20
3.4.4 Grondwater	20
3.4.5 Landbouw	21
3.4.6 Natuur	21
4 Aanpak en beschrijving modelinstrumentarium	27
4.1 Inleiding	27
4.2 KNMI klimaatreeksen	27
4.3 Ondergrondmodel: NL3D	28
4.4 Modellerings hydrologie: AMIGO	28
4.5 Modellerings landbouw: WOFOST	29
4.6 Modellerings natuur: SMART2-SUMO2-NTM3	30
4.6.1 SMART2-SUMO2	30
4.6.2 NTM3	31
4.7 Modelkoppelingen	32
5 Resultaten modellering hydrologie, landbouw en natuur	35
5.1 Klimaatreeksen	35
5.1.1 Informatiebehoefte	35
5.1.2 Beschikbare data	36
5.1.3 KNMI'06 Klimaatscenario's	38
5.1.4 Transformatieprogramma	39
5.1.5 Vergriden van neerslag en verdamping	41
5.2 Beschouwing ondergrondmodel	42
5.2.1 Analyse	46

5.3.1	Vervanging CAPSIM door MetaSWAP	54
5.5.1	SMART2-SUMO2	77
6	Omgaan met onzekerheden	89
6.1	Inleiding	89
7	Conclusies en aanbevelingen	125
8	Referenties	133
 Bijlage(n)		
I	Toelichting model NHI en AMIGO	143
II	Toelichting model WOFOST	145
III	Toelichting model SMART2-SUMO2	149
IV	Vragenlijst stakeholderanalyse	155
V	Aanpassingen kD en C waarden AMIGO	159
VI	Overzicht typen onzekerheden	165
VII	Hydrologische uitkomsten klimaatscenario's	171
VIII	Uitkomsten Mini-Check PBL Leidraad	177
IX	Gross list onzekerheden modelketen	181

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 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. Zo was recent nog in het nieuws dat de provincies niet alleen een beoordeling over de kwaliteit van een dijk in de vorm van goed of slecht willen weten, maar in de vorm van een rapportcijfer die de kans op falen aangeeft.

Echter, huidige grond- en oppervlaktewater modellen en daaraan gekoppelde effectmodellen voor landbouw en natuur sluiten niet goed aan op die informatiebehoefte. Ook worden de onzekerheden over de modeluitkomsten veelal niet transparant in beeld gebracht. Een bijkomend probleem is dat de beleidsvragen zelf ook niet vastomlijnd zijn en snel kunnen wijzigen. Dit heeft soms 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, om deze redenen sluiten de uitkomsten van modelinstrumenten voor het waterbeheer vaak 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. Daartoe heeft het NMDC een onderzoeksprogramma opgesteld voor de periode 2010 – 2012 gericht op innovatie, leerprojecten en verbetertrajecten. In dit kader is het project “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 zullen worden ontwikkeld c.q. verbeterd.

In het plan van aanpak is aangegeven dat de problematiek zal worden onderzocht aan de hand van concrete case studies, waarbij naast geïntegreerde modellering ook sprake is van een gebiedsproces. Er zijn twee cases onderscheiden, een case in laag Nederland waarbij de focus ligt bij landbouw en verzilting, en een case in hoog Nederland waarbij de focus uitgaat naar natuur en landbouw in relatie tot de waterhuishouding. Dit rapport doet verslag van de case voor hoog Nederland.

1.2 Doelstelling van het project

De doelstelling is om met het project:

- Methodes 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.
- De onzekerheden rond data, modelconcepten en klimaatverandering te analyseren en methodes 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 kennisinstituten te bevorderen opdat zijn hun kennis in de toekomst efficiënter en beter op elkaar afgestemd kunnen inzetten.

Nevendoelstelling 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 Afbakening

De focus van het project ligt op de koppeling van state of the art modellen voor de regionale hydrologie, hiervan af te leiden gewasopbrengst en natuur en om hiermee de effecten van klimaatverandering te berekenen. Het gaat in het project dan vooral om de ontwikkeling van methodes om de koppelingen tot stand te brengen en onzekerheden met het modelinstrumentarium te kwantificeren en om deze methodes te testen in de case studie. 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.

1.4 Projectteam

Het projectteam voor dit deelrapport bestaat uit:

Deltares	Alterra	TNO	KNMI	PBL
Remco van Ek Gijs Janssen Marijn Kuijper	Joop Kroes Janet Mol Wieger Wamelink Martin Mulder Annemarie Groot Peter Schipper Ab Veldhuizen Iwan Supit	Frans van Geer Erik Simmelink	Alexander Bakker Janette Bessembinder Bart van den Hurk	Peter Janssen Jeroen van der Sluijs (UU)

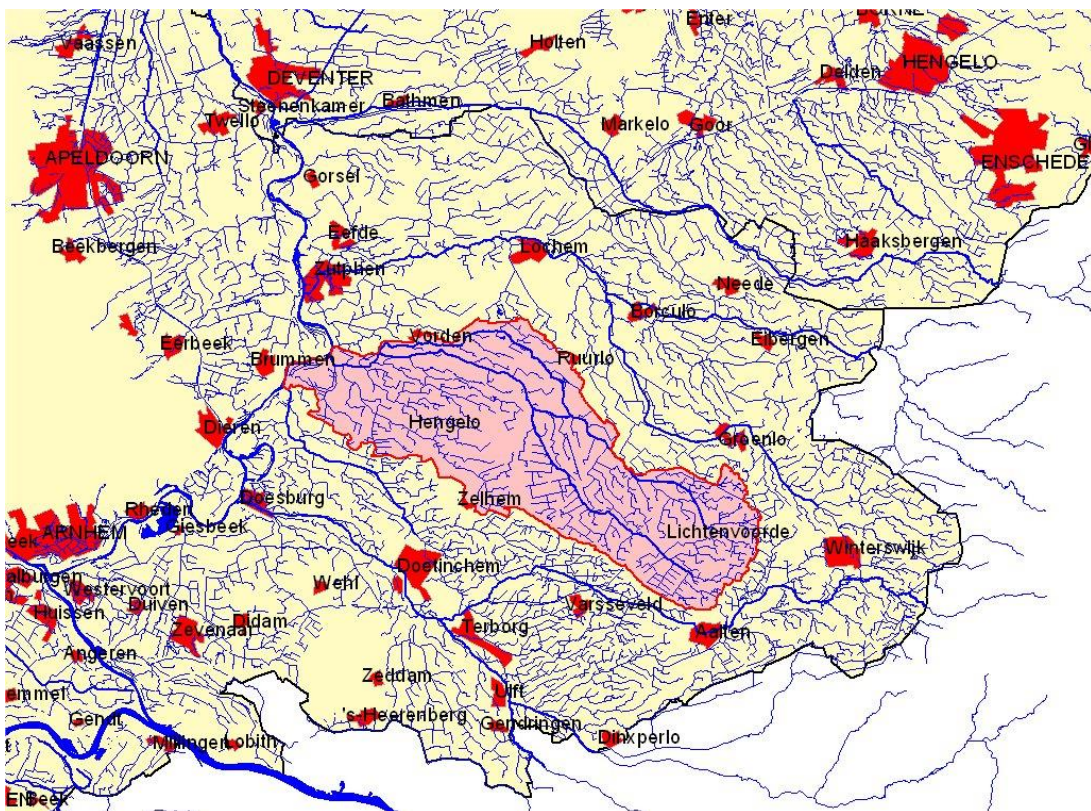
1.5 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk gaan we in op het proefgebied (hst 2), gevolgd door de stakeholderanalyse (hst 3) en een beschrijving van het modelinstrumentarium (hst 4). Vervolgens wordt nader ingegaan op de uitkomsten van modellering van een gekoppeld instrumentarium voor een aantal klimaatscenario's (hst 5) en de onzekerheden in het instrumentarium (hst 6). Uiteindelijk worden de leerpunten van de case studie samengevat in de conclusies (hst 7).

2 Beschrijving projectgebied

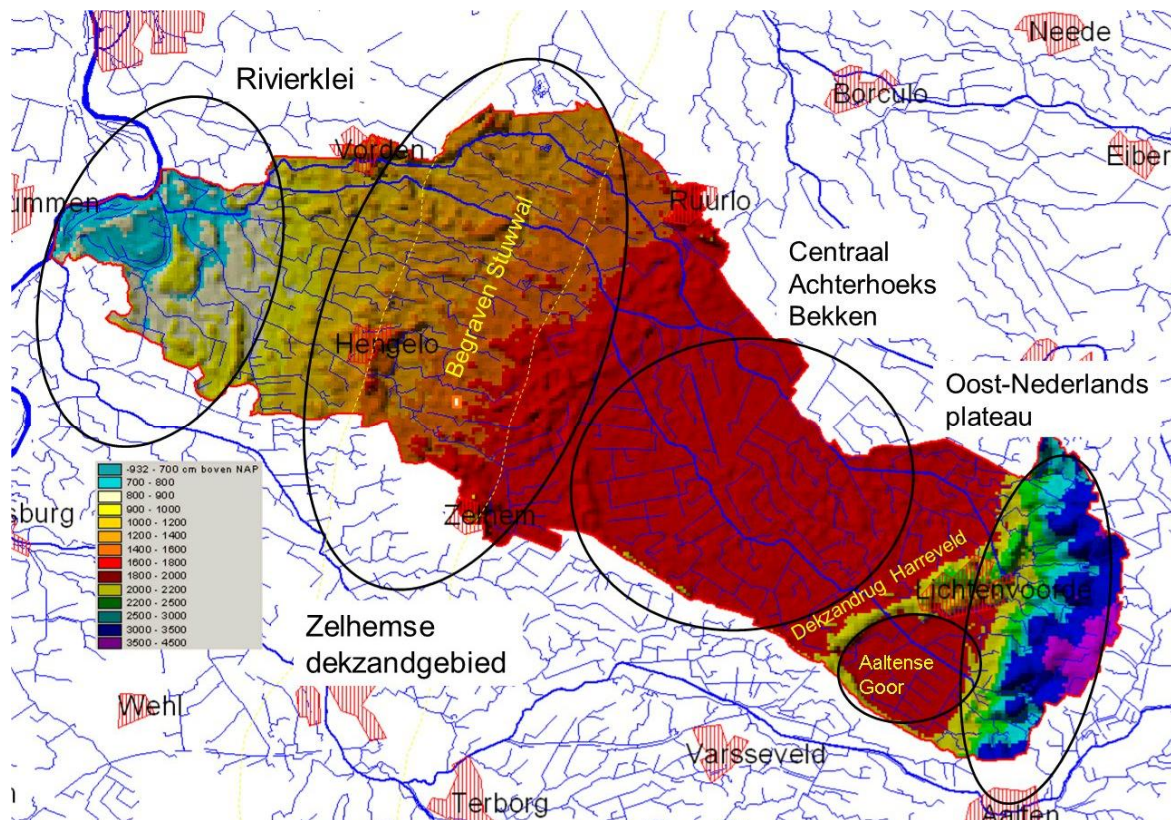
2.1 Topografie

Het stroomgebied Baakse Beek-Veengoot is gelegen in de Gelderse Achterhoek, ongeveer 30 kilometer lang en heeft een oppervlakte van 26760 hectare. Het gebied ligt op de pleistocene zandgronden van Nederland en de hoogte neemt af van oost (~35 m boven NAP) naar west (7 m boven NAP). Het gebied overlapt met de gemeenten Vorden, Ruurlo, Lichtenvoorde, Hengelo en Zelhem.



Figuur 2.1 Ligging van het stroomgebied Baakse beek in de Achterhoek van de provincie Gelderland.

Het gebied is sterk bepaald door diverse landschapsvormende processen, zoals wind-, water- en ijserosie en sedimentatie. Tijdens de voorlaatste ijstijd (Saalien, 200.000 tot 130.000 jaar geleden) reikte de ijskap tot in Nederland en was er sprake van de vorming van glaciële bekkens en stuwwallen. De begrenzing van de maximale ijsuitbreiding tijdens deze voorlaatste ijstijd liep via een stuwwalboog vanaf de Lochemerberg via Ruurlo en Hengelo naar Dieren en Montferland. Deze stuwwal is afgekap, omdat een nieuwe ijslob vanuit het IJsseldal door de stuwwal heen brak. Zo ligt momenteel op de lijn Ruurlo-Zelhem een 'begraven' stuwwal in het stroomgebied, nog herkenbaar aan enkele zandkopjes van keien en grind. In de ondergrond zijn ook voor water ondoordringbare bodemlagen aanwezig, zoals keileemafzettingen die met name naar het oosten toe dicht onder de oppervlakte liggen.



Figuur 2.2 Reliëfkaart van het stroomgebied Baakse beek. Bovenstrooms is goed de ligging te zien van de dekzandrug Harreveld – Lichtenvoorde en de laagte Aaltense Goor.

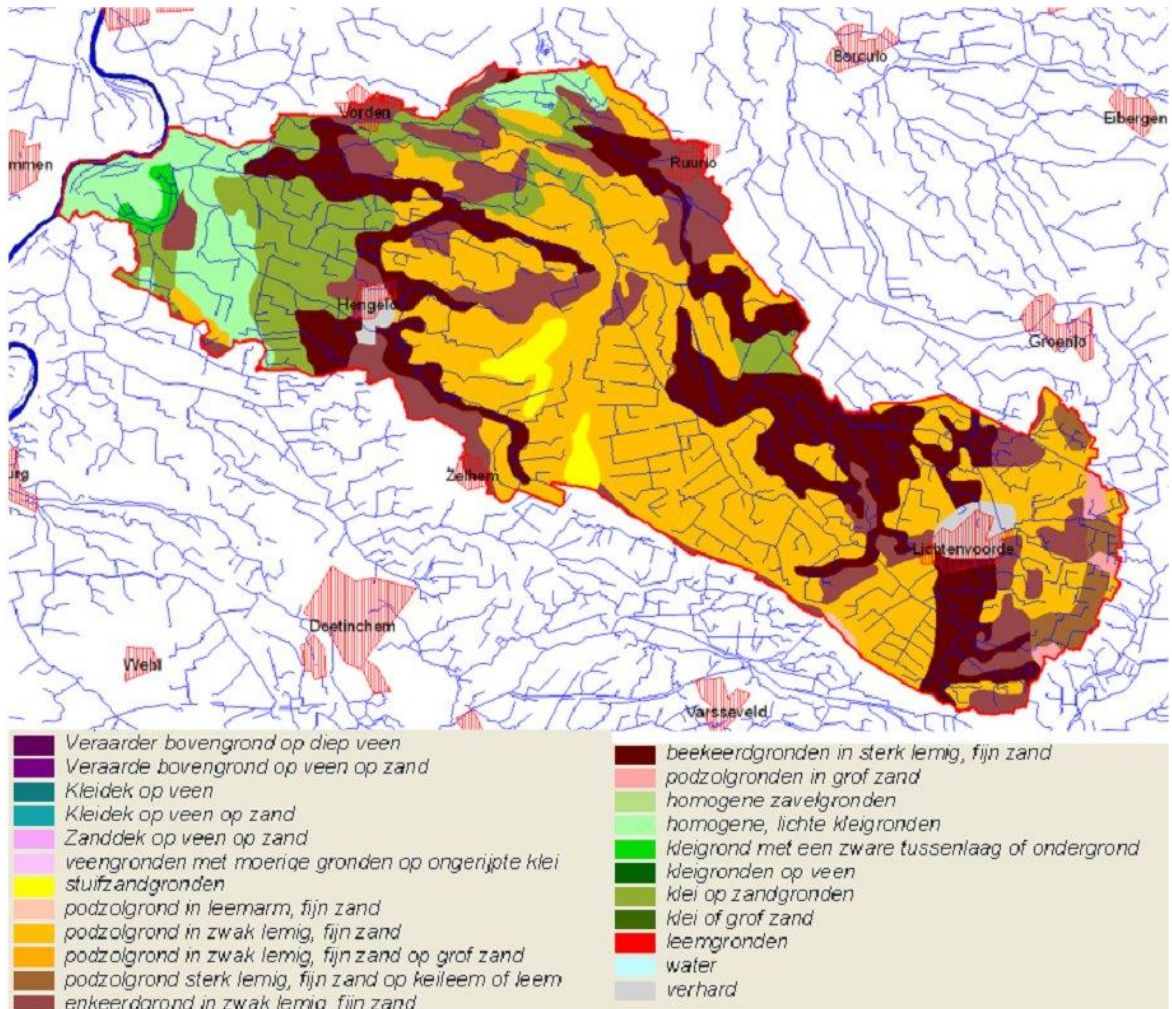
In de laatste ijstijd (Weichselien, 116.000 tot 11.500 jaar geleden) reikte het ijs niet tot in Nederland, maar heerste er een toendraklimaat waarin plateaus, -koppen en -ruggen van dekzand werden afgezet. In dit relatieve droge klimaat domineerde winderosie. Dekzanden werden als een mantel over het landschap afgezet en bedekten de afgetopte stuwwal. Het klimaat leidde in het gebied ook tot de vorming van enkele landduinen. Naast elke dekzandrug ligt een lemige laagte.

Na de laatste ijstijd startte 11.000 jaar geleden het Holoceen, een interglaciaal gekenmerkt door een relatief nat, warm klimaat waarin diverse venen, moerassen en beekdalen ontstonden en uitspoelingsprocessen het landschap verder vorm gaven. Door de verschillen in grondwaterkwaliteit ontstonden er veel verschillende typen veen (variërend van basisch tot zuur veen). Het centrale veenmoeras, het natte middengebied tussen Lichtenvoorde en Ruurlo, is in het Holoceen ontstaan door de sterk gehinderde grondwaterafvoer als gevolg van de begraven stuwwal.

In het westelijk deel van het stroomgebied is sprake van een rivierenlandschap van enkele duizenden jaren oud. Rivierklei werd afgezet waardoor een geheel van kommen en ruggen ontstond. Bij zomer- en wintervloeden legde de rivier zandige en grofkorrelige bestanddelen langs de oevers neer. In de verder weg gelegen kommen kwam het fijnste materiaal, de komklei tot bezinking. De bodem van deze kommen bestaat daarom uit zware en compacte rivierklei.

Als gevolg van de geomorfologische processen wordt de ondergrond in het stroomgebied gedomineerd door zand (dekzanden, landduinen), met in de natuurlijke laagten beekbezinksel (meer leem/humusrijk) en nabij de IJssel rivierklei. Boven op de begraven

stuwwal komen ook duinvaaggronden voor als gevolg van de vorming van landduinen. In het oosten van het stroomgebied liggen oudere tertiaire afzettingen dicht aan de oppervlakte en is sprake van een steil rand.

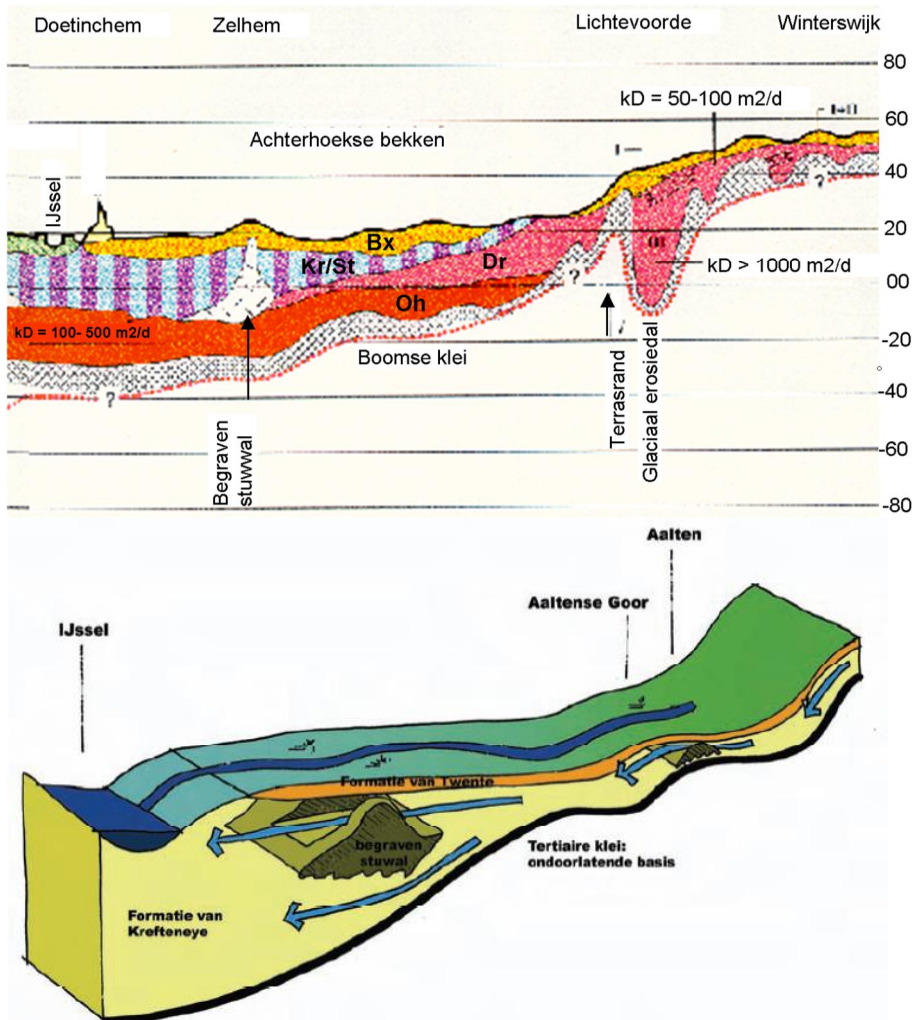


Figuur 2.3 Bodemfysische eenheden afgeleid van bodemkaart 1:50.000

Dominante bodemtypen zijn haarpodzolen en duinvaaggronden ter plekke van de landduinen, veldpodzolen, enkeerdgronden (dekzandruggen) en meer humusrijke en leemrijke zanden (beekeerdgronden) in de natuurlijke laagten. Van de veengronden zijn nog enkele restanten terug te vinden (Aaltense Goor), maar het meeste is verloren gegaan door ontginning van het gebied. In het westelijk deel van het stroomgebied bestaat de bodem uit rivierklei.

2.2 Ondergrond en grondwater

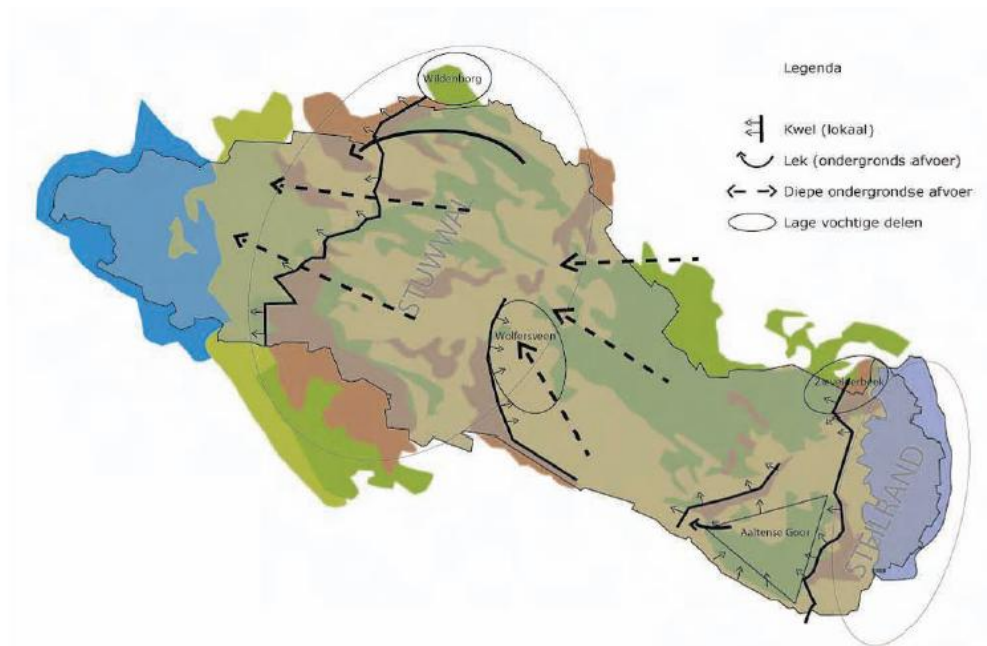
Het onderstaande figuur geeft een schematisch weergave van de ondergrond.



Figuur 2.4 Geohydrologische dwarsdoorsnede. Betekenis symbolen: Bx = Formatie van Boxtel, Kr/St = Formatie van Kreftenheye/Sterksel, Dr = Formatie van Drenthe, Oh = Formatie van Oosterhout. (Bron: Landelijke Hydrologische Systeemanalyse & Integrale visie Baakse beek-Veengoot)

De ondergrond is in het oosten relatief dun en wordt begrenst door de Boomse klei (hydrogeologische ondergrond). In de ondergrond ligt een glaciaal erosiedal uitgesleten gedurende het pleistoceen in de onderliggende afzetting. De geul is gevuld met grove zanden en grind en vormt een drempel voor de afstroming naar de IJssel. In combinatie met de steilrand is hier sprake van opwaartse stuwung van grondwater waardoor hier natte kwelsituaties kunnen ontstaan.

Meer naar het westen gelegen ligt er een begraven stuwwal in de ondergrond dwars op de stroomrichting van het grondwater. Deze stuwwal bevat stagnerende lagen waardoor deze ook als een obstakel voor de laterale grondwaterstroming vormt. Ten oosten van de begraven stuwwal is hierdoor ook stuwung van grondwater mogelijk. Het grondwater kan over en onder deze structuur verder naar het westen afstromen.



Figuur 2.5 Grondwaterstroming (bron: Integrale visie Baakse beek – Veengoot)

De stagnatie van grondwaterstroming verklaart de natste gebieden, zoals het Aaltense Goor, het Wolfersveen, bij de Lievevelderbeek en De Wildenborch. De terrasrandbeken worden onder meer gevoed door 'lokaal' grondwater vanuit de dunne deklaag. Door het ondiepe keileemplateau aan de oostkant bij Winterswijk komt in de terrasrand alleen ondiep grondwater voor dat snel wordt afgevoerd met als gevolg grote piekafvoeren bij hevige neerslag.

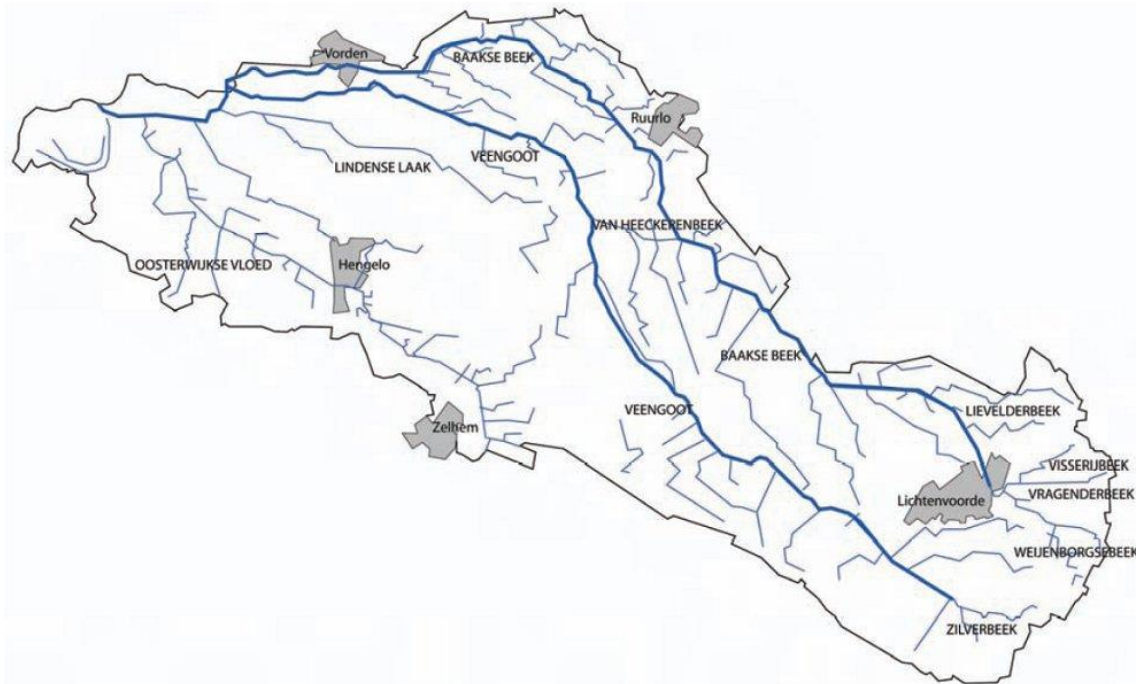
Ter plekke van de dekzandruggen infiltreert regenwater, dat in lagere delen als (lokale) kwel aan de oppervlakte komt. Vooral 's winters en in het voorjaar zorgen de dekzandruggen voor lokale kwel en infiltratiesystemen. De natste plekken in het stroomgebied zijn via landherinrichtingsprojecten ontwaterd en doorsneden door kleine afwateringskanaaltjes (de zogenaamde 'laken'). Veel van oorsprong natte, venige gebieden zijn zo in de loop der jaren verdwenen.

Van der Gaast & Massop (2007) hebben een historische reconstructie gemaakt van de hydrologie van de Baakse beek. Daaruit blijkt dat het stroomgebied in het verleden aanzienlijk natter was, met hogere grondwaterstanden en meer overstromingen. Dit had onder andere te maken met het kappen van bos, maar ook met stagnerende lagen in de ondergrond, maaiveldlaagtes en de veel geringere afwatering en ontwatering. De historische afvoer was in natte perioden – ondanks de hogere grondwaterstanden – lager doordat er sprake was van minder afwatering en meer berging van water op maaiveld (overstroming, veen). Over het algemeen is het gehele gebied door de hydrologische aanpassingen in grondwatertrap één klasse verhoogd (droger geworden).

2.3 Oppervlaktewater

Rond 1200 waren er aanzienlijk minder waterlopen in het gebied dan tegenwoordig. De ligging van de Baakse beek en Veengoot was beperkt tot het deel ten westen van de begraven stuwwal. Daarnaast waren er op de steilrand terrasrandbeken aanwezig die diffuus uitstroomde in het Centraal Achterhoekse bekken ten oosten van de begraven stuwwal. Door de eeuwen heen is het gebied steeds meer ontwaterd en zijn er talloze watergangen aangelegd. In 1780 is de Baakse beek en in 1835 is de Veengoot verlengd richting het oosten

waardoor de waterhuishouding van het gebied sterk veranderde. Water wat eerst stagneerde ten oosten van de begraven stuwwal kon sindsdien vlotter worden afgevoerd naar de IJssel. In het onderstaande figuur zijn de belangrijkste beken in de huidige situatie aangegeven.



Figuur 2.6 Ligging van de waterlopen (bron: Integrale visie Baakse beek – Veengoot)

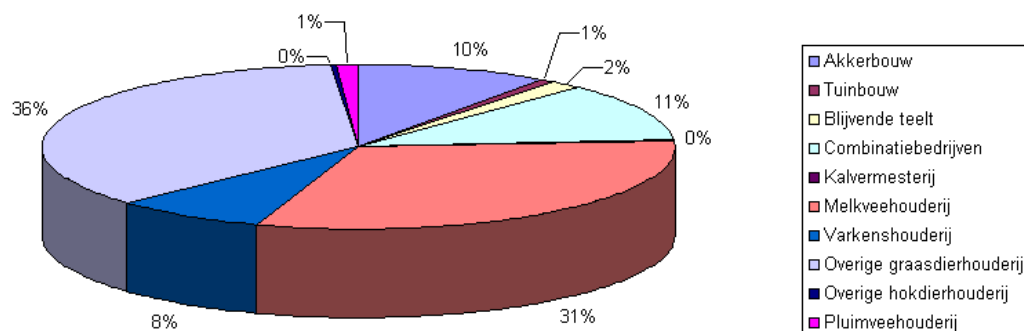
Vanuit het Oost-Nederlandse plateau stromen de Visserijbeek, Vragenderbeek en Wijenborgsbeek naar de Nieuwe Beek die in verbinding staat met de Baakse Beek. Het water van de Zilverbeek stroomt naar de Veengoot. Via de Veengoot en de Baakse Beek wordt het oppervlaktewater efficiënt door het middengebied afgevoerd richting de IJssel. In de jaren 1955-1980 is de afvoercapaciteit van de Baakse beek en Veengoot vergroot, zijn de beken rechtgetrokken (genormaliseerd) en is de grondwaterstand verlaagd. Tevens is de grondwaterwinning sinds 1950 sterk toegenomen. Aangezien de afvoercapaciteit van de benedenloop van de Baakse Beek beperkt is, heeft men in de jaren '60 een verbinding aangelegd tussen de Baakse beek en de Veengoot. Met deze nieuwe watergang genaamd Van Heeckerenbeek, kunnen grote hoeveelheden water vlot via de Veengoot worden afgevoerd richting IJssel. In het onderstaand figuur zijn de jaarlijks gemiddelden debieten aangegeven van de verschillende watergangen.



Figuur 2.7 Waterverdeling in debieten (bron: Integrale visie Baakse beek – Veengoot)

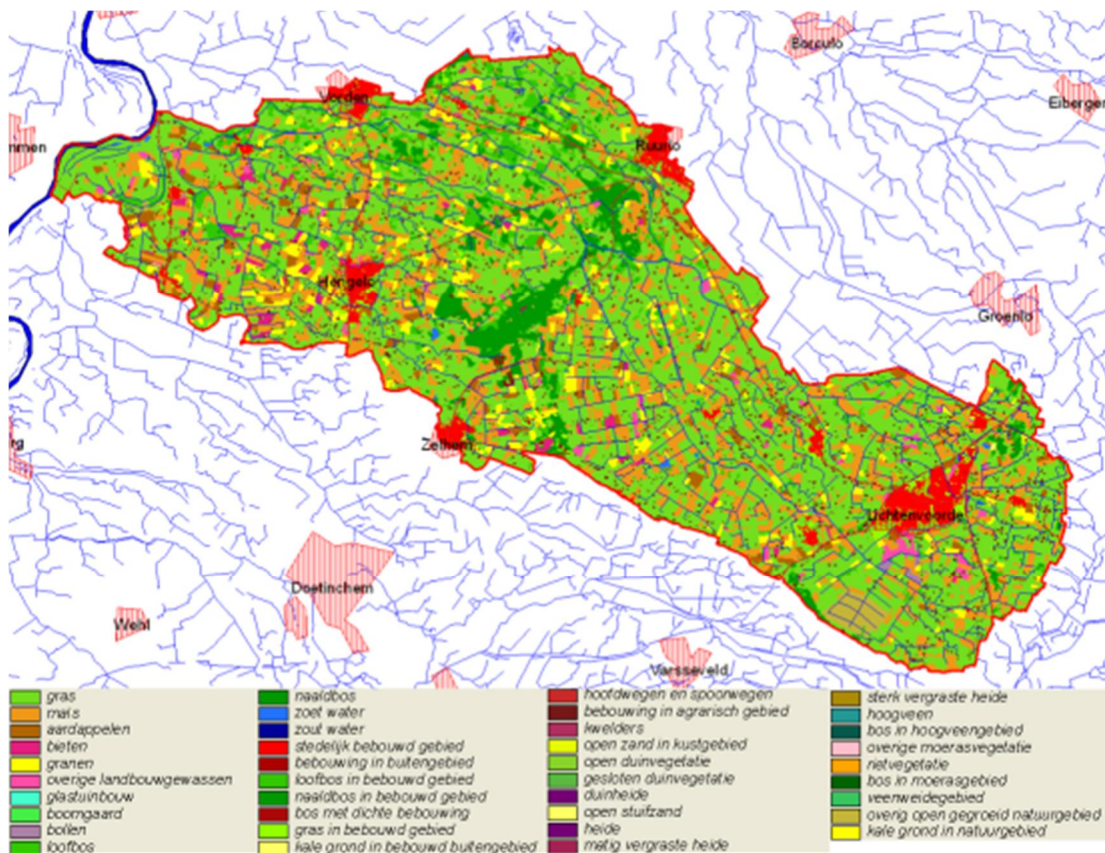
2.4 Landbouw

Meer dan 1.000 agrarische bedrijven verdienen hun inkomen in het stroomgebied. De meeste bedrijven richten zich op veeteelt. Slechts 10% van de bedrijven is puur gericht op akkerbouw (zie figuur) en 11% bestaat uit combinatiebedrijven.



Figuur 2.8 Verdeling aantal agrarische bedrijven in bedrijfstypen (situatie 2006, Bouwsteen Landbouw)

Het gebied wordt dan ook gekenmerkt door intensieve veeteelt en overbesteding. Op het Compendium voor de Leefomgeving (CBS, PBL, Wageningen UR, 2011) staat de Achterhoek aangegeven als een gebied met een relatief hoge N en P productie, meer dan 300 kg N/ha en 120 kg P/ha respectievelijk. De overbesteding leidt tot relatief hoge gehalten aan N en P bodem, grondwater en oppervlaktewater. Voor de Kaderrichtlijn Water verkeren de waterlichamen Baakse beek en Veengoot hierdoor in een slechte chemische toestand (normoverschrijdingen voor onder andere N en P). De waterhuishoudkundige toestand van het gebied is sterk afgestemd op de landbouw. Het onderstaande kaartje geeft het landgebruik weer in het studiegebied (bron LGN).



Figuur 2.9 Landgebruik volgens het LGN

Het meeste areaal is in gebruik als grasland. Daarnaast wordt er maïs, graan, aardappelen en andere gewassen verbouwd. Het grasland en de maïs is belangrijk in verband met de productie van veevoer.

Het agrarische karakter van het stroomgebied wil men voor de toekomst behouden. Dit betekent dat bij de verdere inrichting van het gebied rekening dient te worden gehouden met 'vestigingsfactoren' van belang voor agrarische ondernemers. Voor de sector is een investeringsagenda opgesteld met een overzicht van onderwerpen waarop investeringen gewenst zijn. Qua waterhuishouding kunnen hierbij o.a. worden genoemd:

- Op landbouw afgestemd waterpeil, waardoor de productieomstandigheden verbeterd worden.
- In het kader van de natuur en groen/blauwe diensten worden maatwerkoplossingen bedacht voor het spanningsveld tussen agrarische bedrijven en natuurbelangen.
- Agrarische bedrijven op landgoederen hebben ontwikkelingsperspectief (o.a. investeringen).
- Met heldere communicatie weten ondernemers wat er in het gebied speelt, onderhouden zij contacten met andere partijen, hebben zij actief meegedacht en gepraat en deelgenomen aan de besluitvorming.

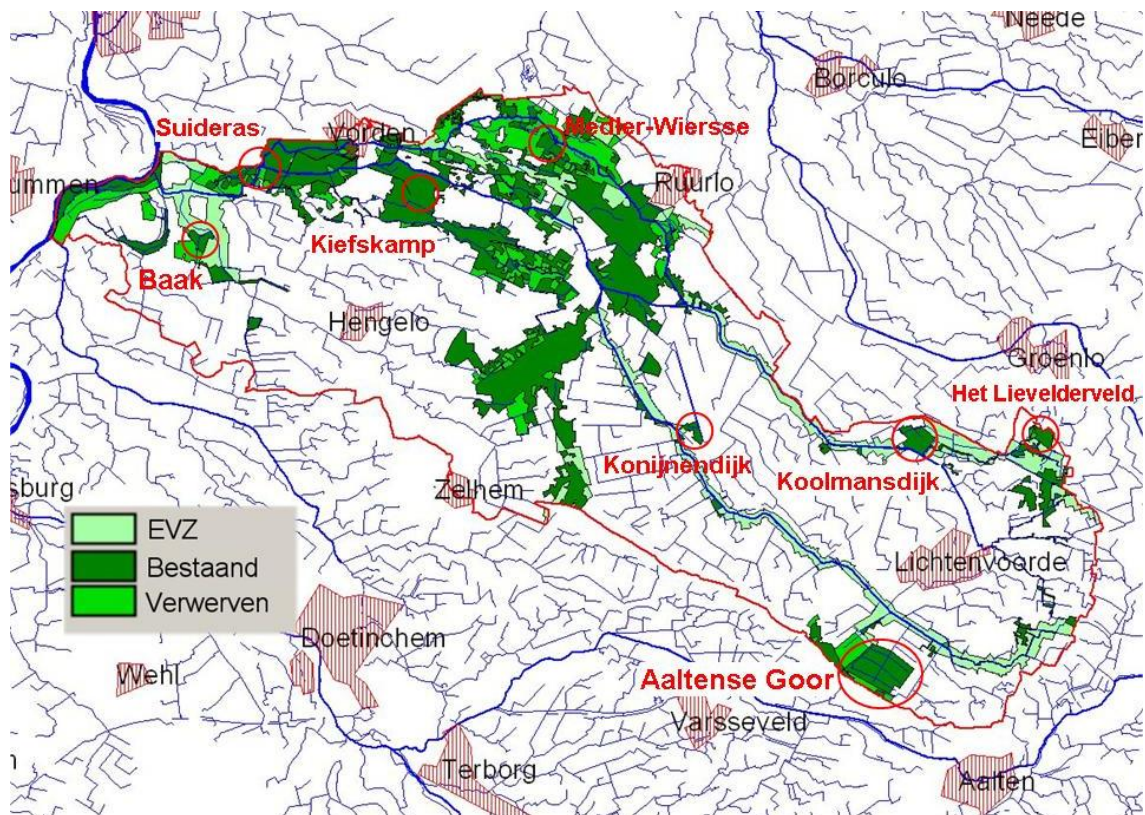
2.5 Natuur

Voor natuur is het stroomgebied landschappelijk afwisselend en aantrekkelijk. Dichte bosgebieden met veel historische landgoederen gaan over in landbouwgronden met een open karakter, die vervolgens uitkomen in een besloten, kleinschalig cultuurlandschap.

Veel landgoederen liggen dichtbij beeklopen (het Huis te Ruurlo, De Wiersse, 't Medler, Wientjesvoort, Kasteel Vorden, Hackfort en Suideras, Het Onstein, Huis 't Zelle, De

Kieftskamp, Het Regelink, Het Meenink en 't Kervel). De landgoederen zijn afhankelijk van het grondwaterpeil en kwelstroming en hebben vaak te maken met verdroging. Een voorbeeld is landgoed Zelle dat last heeft van grondwaterwinning 't Klooster midden in het stroomgebied. De bossen bestaan overwegend uit naaldbout (Grove den), maar er komt ook divers loofbos voor (zie Landgebruikskaart). Een aantal landgoederen bevat natte en vochtige bossen met een rijke ondergroei bestaande uit zeldzame plantensoorten (vochtig, voedselarm, zwak zuur).

In de onderstaande kaart is de EHS aangegeven inclusief diverse bestaande gebieden met relatief bijzondere aan grondwater gebonden natuurwaarden.

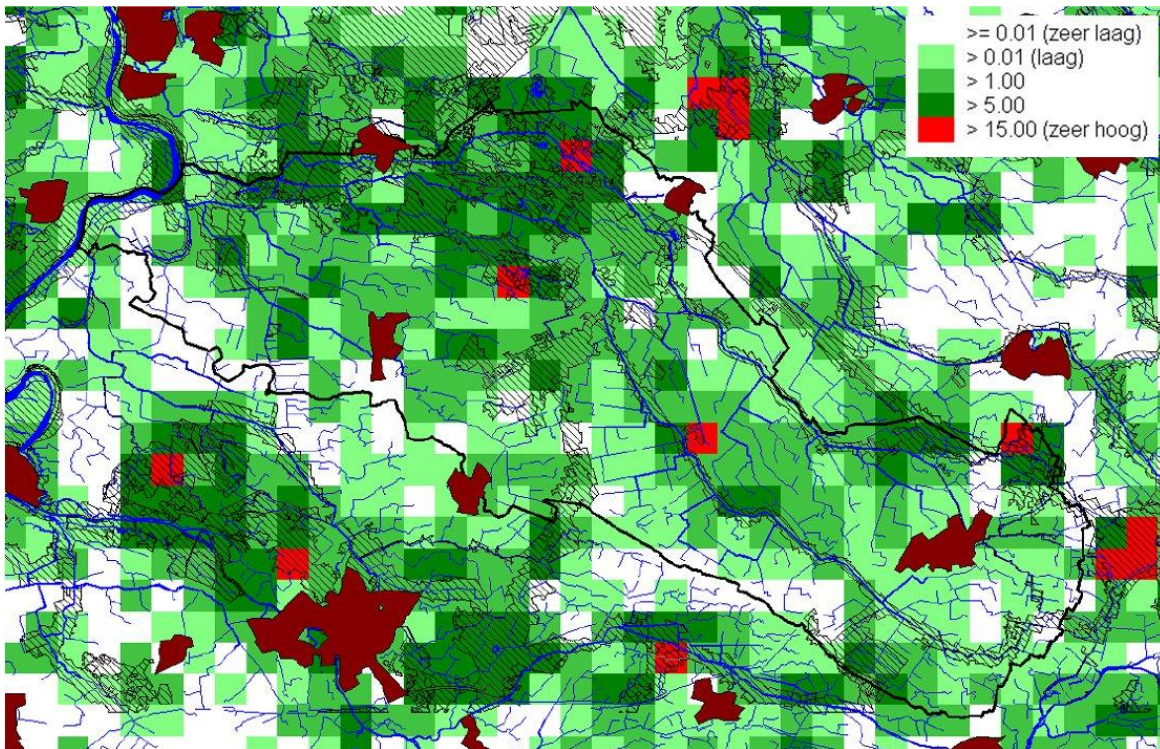


Figuur 2.10 De Ecologische Hoofdstructuur en een aantal belangrijke bestaande natuurgebieden (natuurparels).
EVZ = Ecologische Verbindingszone

Enkele bijzondere gebieden zijn:

- Het Lievelderveld bestaande uit botanisch waardevolle natte heide.
- Koolmansdijk bestaande uit verdroogd blauwgrasland, waar inmiddels herstelmaatregelen zijn getroffen.
- Konijnendijk bevat een restant schraalland met zeldzame flora, nat matig voedselrijk.
- Kieftskamp bestaat uit gevarieerd loofbos met bostypen die karakteristiek zijn voor vochtige tot natte rijkere bodems.
- Medler-Wiersse bevat een oud bos in een voormalige loop van de Baakse beek.
- Suideras en Baak bestaat uit nat tot droog bos op rijkere (klei)bodems met bijzondere plantensoorten.
- Aaltense Goor is een veenontginningsgebied waar sprake is van kleinschalige landbouw. Thans verdroogd, maar met bijzondere natuurwaarden (nat, matig voedselrijk) en toekomstpotentieel. Gebied is ook in beeld voor waterberging.

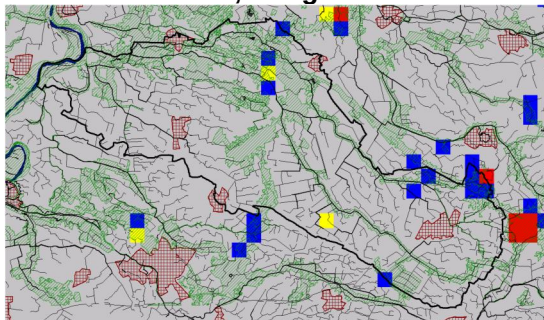
In het onderstaande figuur is per kilometerhok de botanische natuurwaarde gesommeerd voor natte en vochtige ecosysteemtypen op basis van FLORBASE-2N en de DEMNAT natuurwaarderingmethode (Witte, 1998). De hoogste botanische natuurwaarde is waargenomen voor het natuurgebied Konijnendijk. Daarnaast scoren het Lievelderveld, landgoed Zelle en landgoed Melder en de Wiersee hoog. Het Aaltense Goor bevat goed ontwikkelde natte, matig voedselrijke vegetaties maar springt er niet bijzonder uit op het niveau van het hele stroomgebied.



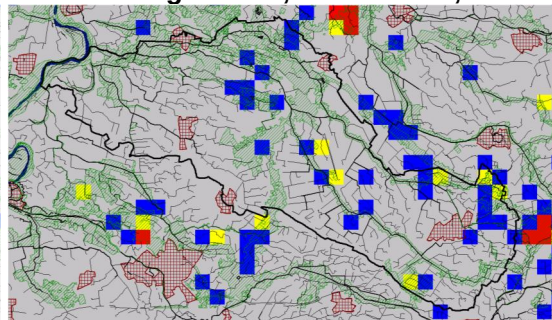
Figuur 2.11 Botanische natuurwaardesom voor natte en vochtige ecosysteemtypen (bron: FLORBASE-2N).

In het onderstaande figuur is het voorkomen van diverse natte en vochtige ecotoopgroepen aangegeven op basis van FLORBASE -2N. Bovenstrooms zijn nog enkele schrale ecotopen waar te nemen (K21, K22), en botanische natuurwaarden kenmerkend voor natte en vochtige bossen is vooral te vinden in het meer benedenstroomse gelegen gebied met bossen en landgoederen.

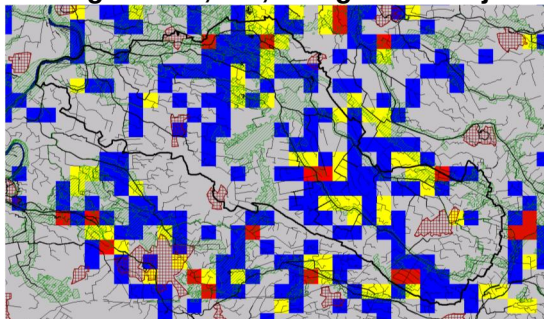
K21 – natte heide, hoogveen



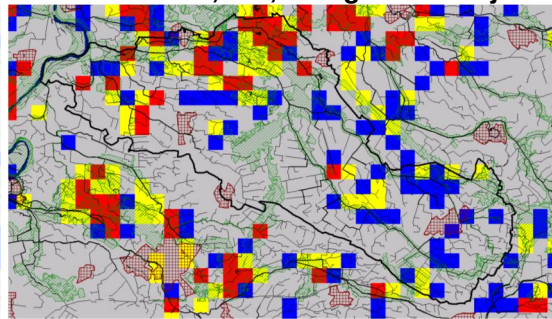
K22 – blauwgrasland, voedselarm, zwak zuur



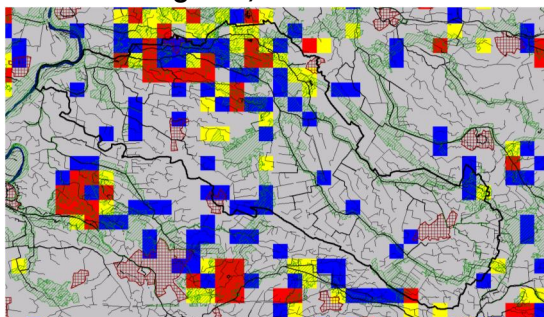
K27 – grasland, nat, matig voedselrijk



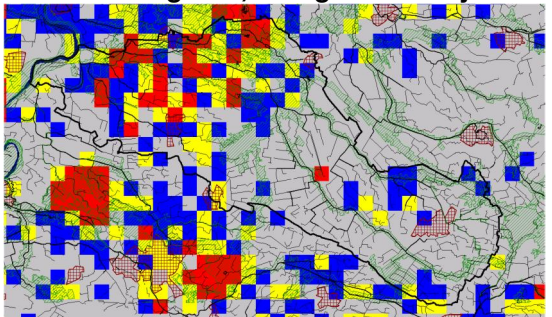
H27 – broekbos, nat, matig voedselrijk



H42 – Vochtig bos, voedselarm



H47 - Vochtig bos, matig voedselrijk



Figuur 2.12 Botanische kwaliteit van een aantal natte en vochtige ecotoopgroepen (blauw = matig, geel = goed, en rood = zeer goed ontwikkeld).

3 Stakeholderanalyse

3.1 Inleiding

Er is een stakeholderanalyse uitgevoerd om een beeld te krijgen van wat de informatiebehoefte is van de stakeholders in relatie tot de waterhuishouding van het stroomgebied Baakse beek. Dit inzicht zal worden afgezet tegen de functionaliteit van het nieuwe modelinstrumentarium wat via koppelingen van bestaande modellen beschikbaar bij de NMDC instituten kan worden gerealiseerd. Daarnaast richt de analyse zich op de perceptie van onzekerheden bij de potentiële gebruikers van de modellen. Vragen waar we in de analyse antwoord op willen krijgen zijn:

- Welke (beleids)vragen en welke informatiebehoeften hebben de stakeholders?
- Wat zijn de verschillen in de 'percepties' die de stakeholders hebben ten aanzien van wateroverlast en watertekort in het stroomgebied en de invloed die klimaatverandering en andere onzekerheden hierop hebben?
- Waar (in welke plaats van het hydrologische systeem) wil men informatie over? Welke grootheden en op welk schaalniveau in ruimtelijk en temporeel opzicht?
- Hoe wil men de informatie hebben (kaarten, GIS-data, website, e.d.)?
- Wat zijn de kritische bandbreedten voor de relevante parameters in relatie tot wateroverlast en watertekort (grondwaterstand, doelbereik natuur e.a. doelvariabelen)?
- Voor welke onzekerheden willen de stakeholders meer inzicht (huidige extreme weersvariaties, het klimaat over 40 jaar of veel verder, en over welke onderdelen: bijv. risico op waterschade, doelbereik van terrestrische natuur, onzekerheden modellen qua data (invoer) en/of modelconcepten?)

3.2 Aanpak

In de Baakse beek loopt momenteel een gebiedsproces (www.baaksebeek.nl) om de verschillende gebiedsopgaven bij elkaar te brengen tot een integrale oplossing. Bij het benaderen van de stakeholders is rekening gehouden met het bestaande gebiedsproces, omdat we met dit project het lopende proces niet willen verstoren, maar eerder versterken. Daarom is als eerste stap contact gelegd met de organisaties verantwoordelijk voor het gebiedsproces, om vervolgens afspraken te kunnen maken met de stakeholders. Tevens is kennisgenomen van de analyse die is uitgevoerd in het kader van Kennis voor Klimaat: Klimaatadaptatie droge rurale zandgronden (Geertsema et al., 2011). De stakeholderanalyse voor de case Baakse Beek richt zich vooral op het grondwater en oppervlaktewaterbeheer in relatie tot het landgebruik, met speciale aandacht voor de verweving van landbouw en waardevolle grondwaterafhankelijke natuur in het landelijk gebied. Om pragmatische redenen was het niet mogelijk alle stakeholders te benaderen. Er is eerst een vragenlijst (bijlage) opgesteld die aansluit op het doel van de analyse. Vervolgens zijn er met de vertegenwoordigers van de verschillende stakeholders individuele gesprekken gevoerd waarin een inleiding is gegeven op het NMDC project en een toelichting op de daarin gehanteerde modellen, om vervolgens in te gaan op de vragenlijst. De interviews zijn gehouden met personen werkzaam bij:

- LTO Noord (beleidsmaker)
- Provincie Gelderland (beleidsmedewerker herijking EHS, voorheen reconstructie Achterhoek-Liemers, hydroloog)
- Het Waterschap Rijn en IJssel (beleidsadviseur planvorming werkt relatief veel met modellen)
- Natuurmonumenten (twee beleidsmedewerkers).

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

3.3 Resultaten

3.3.1 Probleemperceptie

Heden

Vanuit een waterperspectief spelen er in de Baakse Beek twee problemen 'zoetwatertekort' en wateroverlast c.q. natschade. Afhankelijk wie men spreekt wordt het ene probleem meer gevoeld dan het andere. De respondent werkzaam bij LTO Noord geeft aan dat natschade als een groter probleem wordt ervaren dan droogteschade. Dit gevoel wordt mede ingegeven door de wateroverlast van augustus 2010 die nog goed tussen de oren zit. De gehanteerde bemalingsstrategie van het waterschap heeft tot veel maatschappelijke onrust geleid in het gebied, aldus de respondent. Ook voor het waterschap is natschade een groter probleem dan zoetwatertekort. Natschade wordt door het waterschap in de regel als een groot probleem ervaren zeker vanuit het perspectief van de agrariërs bekeken waar het waterschap in gebiedsprocessen toch vaak mee te maken heeft. Als de watergangen buiten hun oevers treden, er niet meer op het land gereden kan worden en de aardappels niet meer van het land kunnen, dan is de schade voor de landbouw groot. De respondent van het waterschap geeft aan dat binnen het waterschap niet gesproken wordt in termen van zoetwaterschaarste of zoetwatertekorten. Maar de problematiek speelt wel. Zo is er binnen het Waterschap Rijn en IJssel sinds een aantal maanden een actieteam 'droogte' actief dat wekelijks bij elkaar komt en de situatie wat betreft droogte goed in de gaten houdt om te bepalen of en zo ja welke maatregelen er getroffen moeten worden. Zoetwatertekort wordt door de respondent van het waterschap als niet zo ernstig gescoord. De schadelijke effecten van zoetwatertekorten (droogte) spelen vooral voor de beekfauna en de waterafhankelijke natuur. Het tijdelijk droogvallen van bovenlopen van de Baakse Beek is sinds jaar en dag het geval, aldus de respondent van het waterschap. Echter de trajecten waarop dit speelt kunnen zich wel uitbreiden.

...Als een traject waar normaal wel wat afvoer zit droog valt dan krijg je stilstaand water, algengroei en zuurstofloosheid en gaat de algehele kwaliteit achteruit...

Op dit moment wordt er door Alterra een studie uitgevoerd naar basisafvoer van de Baakse Beek om een beeld te krijgen van de natuurlijke basis voor de Baakse Beek, die kan fungeren als een soort van referentiewaarde. Als je de oorspronkelijke afvoersituatie wilt herstellen dan is grootschalige moerasontwikkeling noodzakelijk hetgeen niet past binnen het huidige landgebruik met intensieve landbouw. In feite gaat het voor het waterschap om het zoeken naar een balans tussen enerzijds het tegen gaan van de nadelige effecten van verdroging, en anderzijds het beperken van de kans op wateroverlast. In de praktijk betekent dit ruimte geven aan water, wat dan wel weer ten koste gaat van enige landbouw, aldus de respondent van het waterschap. In het stedelijk gebied wordt wateroverlast niet als een ernstig probleem ervaren.

De provincie heeft in Waterplan Gelderland 2009 aangegeven dat de droogteproblematiek beter in beeld gebracht zal worden. In dit kader is een verkennende studie uitgezet (Klimaat en droogte¹) bij de waterschappen om inzicht te krijgen in de ernst van de droogteproblematiek. Ook worden er vanuit de provincie middelen beschikbaar gesteld om actief deel te kunnen nemen in klimaat en droogte onderzoek en sluit de provincie aan op het deelprogramma zoetwater van het Deltaprogramma. De respondent van de provincie Gelderland geeft aan de zoetwaterschaarste problematiek als een ernstig probleem te beschouwen maar de verkenning zal verder moeten aangegeven hoe ernstig het droogteprobleem is. Wel ervaart men al dat vijf droge voorjaren achter elkaar een negatief effect kunnen hebben op het voorkomen van bepaalde plantensoorten. Landelijk is al een trend waarneembaar in de metingen dat de voorjaren steeds droger worden.

¹ <http://www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/structuur-pagina/zoeken-site/@31558/rapportage-klimaat/>

In de verkenning “Klimaat en droogte” wordt droogte gekoppeld aan klimaatverandering en wordt gekeken wat het effect is op het hele systeem, inclusief landbouw en natuur. Omdat de agrariërs natschade als een ernstig probleem ervaren is dit voor de provincie ook een ernstig probleem, aldus de respondent van de provincie Gelderland. Door de huidige Gedeputeerde Staten wordt natschade als een ernstiger probleem ervaren dan droogte. De provincie is dan ook van plan maatregelen te treffen tegen wateroverlast. Voor Natuurmonumenten speelt natschade niet, maar verdroging wel aldus de respondenten van Natuurmonumenten. Binnen Natuurmonumenten wordt niet in termen van zoetwatertekort of droogte gesproken maar over verdroging. Bij verdroging gaat het om een verandering in de hydrologie die zich uit in lagere grondwaterstanden en minder kwel als gevolg van menselijk ingrijpen zoals waterwinning en ontwatering voor de landbouw. Het stroomgebied de Baakse Beek is erg ontwaterd. Inundatie als natuurlijk proces in natuurgebieden komt nauwelijks meer voor. Er zijn wel gebieden langs de Baakse Beek aangewezen als overloopgebieden maar dit zit in de orde van eens per 50 jaar en het betreft geen graslanden, aldus een respondent van Natuurmonumenten.

Toekomst

De respondent van LTO noord verwacht dat zowel natschade als droogte voor de landbouw een ernstiger probleem wordt als gevolg van klimaatverandering. Iedereen binnen de landbouw is zich hiervan inmiddels wel bewust, aldus de respondent. De discussies tussen agrariërs en het waterschap over bemalingsstrategieën zullen dan ook steeds scherper worden is de verwachting. Wel gaat men er vanuit dat het om calamiteiten gaat die af en toe voor zullen komen.

De respondent van het waterschap verwacht ook dat de natschadeproblematiek in de toekomst ernstiger wordt en baseert zich hierbij op informatie van het KNMI dat de kans op intense buien met 10-27% toenemen. Hiermee wordt binnen het waterschap al enige jaren rekening gehouden in de uitbreiding van het stedelijk gebied. Ook bij de toetsing wateroverlast wordt rekening gehouden met een 10% toename in de neerslagintensiteit. De respondent van het waterschap verwacht dat ook zoetwatertekort in de toekomst een ernstiger probleem wordt als gevolg van een toename in temperatuur en verdamping en noemt hierbij de droogte in 2003, 2009 en het voorjaar 2011.

Ook de respondent van de provincie verwacht dat in de toekomst de zoetwaterschaarste problematiek toeneemt. Uit de verkennende studie Klimaat en droogte zal duidelijk worden voor wie dit probleem met name geldt en in welke mate.

De respondenten van Natuurmonumenten geven aan te verwachten dat de droogte in de toekomst een groter probleem wordt voor de natuur. In het geval dat het W+ scenario werkelijkheid wordt met meer verdamping en minder neerslag dan wordt de situatie die nu al niet goed is vanwege verdroging alleen maar ernstiger, aldus een respondent van Natuurmonumenten.

In de onderstaande tabel is de probleemperceptie samengevat voor de verschillende onderdelen en stakeholders.

Tabel 3.1 Probleempercepties natschade en zoetwatertekort in de Baakse Beek (heden en toekomst)

Respondenten	Natschade heden	Natschade in toekomst	Zoetwater tekort-verdroging heden	Zoetwatertekort-verdroging toekomst
LTO Noord	2	1	3	2
Provincie Gelderland	2	2	2	1-2
Natuurmonumenten	4	4	2	1
Waterschap Rijn en IJssel	2	1-2	2-3	2

Schaal: 1 (zeer ernstig) – 2 (ernstig) – 3(matig) - 4 (niet)

3.4 Informatiegebruik en –behoeften

3.4.1 Informatiegebruik: nu en in verleden

De interviews zijn gebruikt om inzicht te krijgen in: 'welke type(n) informatie stakeholders tot op heden gebruiken bij hun besluitvorming op het gebied van zoetwaterschaarste, verdroging en/of natschade, en in hoeverre men gebruik maakt van wetenschappelijke informatie' en 'welke graadmeters (indicatoren) gebruikt worden om te bepalen of een bepaalde maatregel effectief is'. De vragen zijn besproken aan de hand van een concrete maatregel die in het recente verleden is uitgevoerd om beter om te kunnen gaan met zoetwaterschaarste/droogte en/of natschade. Tabel 3.2 geeft een overzicht van de resultaten.

Tabel 3.2 Informatiegebruik tot op heden bij maatregelen tegen zoetwaterschaarste / verdroging of natschade inclusief het gebruik van (effect)indicatoren hierbij.

Respondent	Gebruik van (wetenschappelijke) informatie	Voorbeeldmaatregel uitgevoerd voor omgaan met zoetwaterschaarste/verdroging of natschade	Graadmeters om effect van maatregel te bepalen
LTO Noord	- Uitkomsten van toegepaste projecten als 'landbouw op peil'. - Interesse voor en gebruik van modellen is bij achterban gering. - Agrariër heeft kennis van zaken over grondwaterstanden en grondwaterdynamiek op zijn eigen perceel in relatie tot gewasgroei. - Informatie over grondwaterdynamiek op gebiedsniveau is ook aanwezig en wordt gebruikt in gebiedsprocessen.	- Bij droogte vindt berekening plaats - In geval van inundatie wordt er van het waterschap verwacht dit m.b.v. bemalen snel aan te pakken	- Gewasschade als gevolg van inundatie - Berijdbaarheid
Provincie Gelderland	- Provincie heeft de waterschappen gevraagd om de regionale watersystemen in kaart te brengen, inclusief wateroverlast. Dit gaat dan om overlast die te maken heeft met het oppervlaktewatersysteem dat te klein is en dus overstroomt. - AMIGO dat het gehele grondwatersysteem voor de Baakse Beek beschrijft.	Provincie stelt kaders, neemt zelf geen maatregelen op gebied van droogte of natschade	- Voor landbouw: GHG en berijdbaarheid van land - Voor natuur: GVG en GHG (natte heide) en kwelfluxen
Natuur-monumenten	'Waternood' wordt gebruikt in gebiedsprocessen om op basis van de aanwezige grondsoorten in een gebied en de eisen die bijvoorbeeld aan de functie natuur worden gesteld het gewenste hydrologische regime te bepalen. - Gebruik van kwelkaarten en grondwaterkaarten.		GHG, GVG en GLG, kwelflux

Respondent	Gebruik van (wetenschappelijke) informatie	Voorbeeldmaatregel uitgevoerd voor omgaan met zoetwater-schaarste/verdroging of natschade	Graadmeters om effect van maatregel te bepalen
Waterschap Rijn en IJssel	- Met behulp van het grondwatermodel AMIGO wordt informatie verkregen over grondwaterstanden en kwel. Er wordt gekeken naar diepere grondwaterstromen en in hoeverre dit grondwater naar het maaiveld toestroomt en eventueel wateroverlast veroorzaakt. - Waternoodinstrumentarium wordt ook gebruikt voor het vaststellen van optimaal grondwaterstandregime. - Indien kans op wateroverlast groot is wordt gebruik gemaakt van een oppervlaktewatermodel (SOBEK en 'rainfall runoff'). - Aparte ecologische modellen worden niet toegepast. - Voor bepalen van grondwaterkwaliteit wordt expert judgement gebruikt met eventueel enkele aanvullende metingen. - Verwachtingen t.a.v. natuurdoeltypen worden bepaald a.h.v. hydrologische informatie inclusief de kwaliteit van grondwater. Deels wordt deze informatie via modellen (Waternood en/of metingen verkregen deels ook uit ervaring bijv van DLG). - Site Nederlandse Hydrologische Vereniging (http://www.nhv.nu/). - Wat betreft klimaat wordt gebruik gemaakt van de 30 jarige reeksen die in de Bilt gemeten worden. - W en W+ scenario's worden gebruikt in klimaatprojecten (KvK).	Verondiepen van watergangen als aanpak tegen droogte	- GHG (ook op natuurterreinen) - GLG (t.b.v. helptabellen voor landbouw) - GVG t.b.v. helptabellen natuur - Toename in kwel

Opgemerkt kan worden dat binnen het waterschap veel gebruik wordt gemaakt van het grondwatermodel AMIGO en van verschillende oppervlaktewatermodellen. AMIGO wordt ook naar tevredenheid ingezet binnen het gebiedsproces herinrichting Baakse Beek. Agrarische ondernemers maken relatief minder gebruik van informatie afkomstig van modellen en meer van eigen ervaring en inzichten afkomstig uit 'real life' projecten. 'Waternood' is door verschillende respondenten genoemd als zijnde een instrument dat wordt gebruikt om een optimaal grondwaterstandregime vast te stellen.

3.4.2 Informatiebehoefte

Om het NMDC modelleninstrumentarium zo goed mogelijk aan te laten sluiten bij de behoeften van eindgebruikers is besproken welke informatie men nodig acht op het gebied van de volgende drie aspecten:

- Klimaatverandering;
- Grond/oppervlaktewater;
- Gewasopbrengst.

Daar waar mogelijk was is de informatiebehoefte aan de hand van een concrete maatregel geïnventariseerd. Ook is het gewenste schaalniveau in ruimte en tijd geïnventariseerd en de vorm waarin de informatie gecommuniceerd zou dienen te worden. De tabellen 3.3 t/m 3.6 geven een samenvatting van de uitkomsten. De uitkomsten laten enige overlap zien omdat het lastig is informatiebehoefte op gebied van grondwater en gewasopbrengst los te koppelen van klimaatverandering. In de toelichting op de tabellen wordt vooral ingegaan op 'bijzonderheden' en 'gemeenschappelijke of juist conflicterende behoeften'. Indien een respondent een mening had ten aanzien van een specifieke informatiebehoefte, schaal of vorm van communicatie dan is dit in de tabel met een – aangegeven.

Een algemene opmerking met betrekking tot de informatiebehoefte is dat twee respondenten benadrukten het belangrijk te vinden dat er één model/systeem ontwikkeld wordt dat alle belangrijke aspecten dekt en gebruikt kan worden c.q. wordt door alle partijen. Een respondent:

..Graag zou ik zien dat de Nederlandse instituten tot één model kunnen komen. En het effect op landbouwgewassen moet echt nog uitgebreid worden. Er moeten meerdere gewassen in zitten. Zodat we kunnen zien of er een verschuiving in gewaskeuze zou moeten plaatsvinden bijvoorbeeld. Ook het gebruik van bedrijfsmatige modellen zou een aanvulling kunnen zijn. Voor de Achterhoek is AMIGO goed. De hydrologie is oké. Investeren in flexibel en goed met de landbouw omgaan is belangrijk. De landbouw blijft toch de beheerder van het landelijk gebied. De natuur hebben we aardig in de vingers....

3.4.3 Klimaat

De interesse in informatie over klimaatveranderingsscenario's is afhankelijk van in hoeverre droogte, verdroging of juist natschade als een probleem wordt ervaren. Zo geven de respondenten van Natuurmonumenten aan met name geïnteresseerd te zijn in het G en W+ scenario. Met neerslag weet men wel raad. Het waterschap raadt een focus op W en W+ scenario's aan zijnde de twee meest extremen vergeleken met de huidige situatie. De respondent van de provincie benadrukt dat informatie over klimaatverandering van belang is voor het ondersteunen van het herstructureringsproces van de landbouw (en natuur) om te komen tot een klimaat robuuste landbouw in het gebied. Zo is het voor de agrariërs in het gebied belangrijk om een goede mix te hebben van hoge (relatief droge) en laaggelegen (relatief natte) gronden en gronden met een gemiddelde hoogte.

Wat betreft het tijdsperspectief zijn de respondenten niet zo heel expliciet en zeker niet eenduidig. Voor agrariërs is een termijn van 10 jaar werkbaar, terwijl voor de provincie en Natuurmonumenten een langer termijnperspectief van 2050 ook interessant is. De respondent van het waterschap gaf aan dat klimaatreeksen van 30 jaar interessant zijn maar dat een koppeling mogelijk moet zijn met het grondwatermodel dat door het waterschap gebruikt wordt en die momenteel met een maximum van 8 jaar rekent. Dit komt voort uit een pragmatische keuze (beperken rekentijd). Zo blijft de hoeveelheid tijd die nodig is om een analyse te doen acceptabel (één nacht rekenen met 3-4 PCs acht men acceptabel).

... Om mee te werken hebben we gewoon de klimaatreeksen zelf nodig. Dat is vaak op dag basis. En dan is het belangrijker dat de KNMI scenario's ook makkelijk in te laden zijn in de verschillende modellen die soms net met een iets ander format van data werken...

Kaarten die risico's op overstroming laten zien voor het hele gebied op perceelniveau zijn interessant voor het waterschap en agrariërs. Bij de keuze van de vorm waarin de klimaatinformatie aangeboden wordt dient rekening gehouden te worden met de ervaring dat woorden of kaartjes goed communiceren naar burgers en bestuur, aldus de respondent van het waterschap.

3.4.4 Grondwater

Wat betreft de informatiebehoefte op het gebied van grondwater kan worden opgemerkt dat voor de landbouw informatie over de GHG en GLG van belang is. Voor natuur is informatie over de GVG interessant, de GHG van natte heide en informatie over kwel(flux). De respondenten benadrukten dat informatie over (veranderingen in) GHG, GVG of kwel vooral interessant is indien dit wordt vertaald naar natuurwaarden waarnaar gestreefd wordt. Als ruimtelijk schaalniveau waarop deze informatie zou moeten worden geleverd wordt 25 bij 25 m genoemd. Deze natuurwaarden worden door de provincie aangeduid als beheertypen. Informatie van het hydrologische model levert nu alleen hydrologische condities.

Een respondent gaf aan dat met AMIGO de informatiebehoefte met betrekking tot het grondwatersysteem prima gedekt wordt. Wat nog rest is AMIGO doorrekenen met klimaatscenario's, het koppelen aan MetaSWAP en koppelen aan effectmodules voor landbouw en natuur. Tevens is door verschillende respondenten de behoefte geuit om informatie te krijgen over de effecten van bepaalde maatregelen op de grondwaterstanden.

3.4.5 Landbouw

Twee respondenten gaven expliciet aan geïnteresseerd te zijn in informatie op gebied van gewasopbrengst die via het NMDC modelleninstrumentarium geleverd zou kunnen worden. De respondent van LTO Noord gaf aan dat een koppeling tussen het grondwatermodel en gewasopbrengst interessant is indien het informatie levert over hoe lang een droge periode gaat duren zodat een agrariër zijn berekening beter kan plannen met oog op optimale gewasgroei. Ook de respondent van het waterschap benadrukte het belang van (informatie over) de relatie bodemvocht-gewasopbrengst:

....Wat je aan de andere kant ziet is dat agrariërs grondwater onttrekken en soms ook oppervlaktewater indien ze hier een vergunning voor hebben. Door ze beter inzicht te geven in hoe de waterhuishouding werkt in relatie tot gewasopbrengsten, zouden ze mogelijk minder gaan beregenen waardoor er minder grond- en oppervlaktewater wordt onttrokken. Daar heeft het waterschap belang bij, zeker op de momenten dat de aanvoer heel beperkt is. Dus indirect kan het helpen om de afvoer in de beken wat langer op een minimum niveau te houden....

Het schaalniveau van informatie over gewasopbrengst dient 25 bij 25 m te zijn. Wat betreft de vorm waarin de informatie dient te worden aangeboden geldt ook hier dat kans/risicokaarten die veranderingen in gewasopbrengst laten zien in kg/ha (als gevolg van klimaatverandering) de voorkeur hebben. De respondent van de provincie gaf aan informatie te kunnen gebruiken over welke gronden/percelen geschikt zijn voor welke gewassen en hoe dit zich ontwikkelt door klimaatverandering en vernatting ten behoeve van een klimaatrobuuste landbouw (en natuur)ontwikkeling.

3.4.6 Natuur

De respondenten van Natuurmonumenten gaven aan dat informatie over natuurwaarden inclusief de factoren die bepalend zijn voor de natuurwaarde interessant zijn voor het beleid. Ook informatie over het effect van maatregelen (per klimaatscenario) op de vegetatie en daarvan afgeleide natuurwaarde is gewenst. De respondent van de provincie benadrukte het belang van informatie over het herstel van het watersysteem (kwel en grondwaterstanden) voor de vertaling naar welke natuurtypen verwacht kunnen worden. Hierbij ging het meer om het creëren van de randvoorwaarden om een palet aan natuurtypen te kunnen realiseren dan om wat daadwerkelijk gerealiseerd wordt.

Tabel 3.3 Informatiebehoeften Natuurmonumenten

Natuurmonumenten Maatregel: peil gestuurde drainage			
	Specifieke informatiebehoeften	Op welk schaalniveau? (tijd, ruimtelijk); eenheid	Informatie in welke vorm?
Klimaat-verandering	G en W+ scenario's zijn het meest interessant met name vanuit een droogte perspectief.	Omdat het beleid uitgaat van 2050 is dit jaartal interessant.	-
Grondwater	- Informatie over grondwaterstanden (GLG, GHG, GVG) en kwel gekoppeld aan natuurwaarden. - Informatie over hoe peil gestuurde drainage als maatregel wordt uitgevoerd, dus hoe is de bediening en instelling. Is de ontwatering diep ingesteld gedurende het jaar of zet een boer zodra het kan de stand omhoog? - Hoe verandert kwel en /of grondwater? - Bodem-chemische kwaliteit: fosfaat is belangrijke parameter voor slagen van natuurontwik-keling op landbouwgronden.	25 bij 25 m	- Kaarten van grondwaterstand en en kwel gekoppeld aan natuurwaarden waarnaar gestreefd wordt (beheertypen). - Kaartjes die alleen een verandering in GHG laat zien a.v.g. van verschillende scenario's zijn alleen interessant indien een nieuwe GHG toestand door vertaald wordt naar een nieuwe natuurtoestand.
Natuur	- Informatie over natuurwaarden inclusief de factoren die bepalend zijn voor de natuurwaarden - Per maatregel voor elk scenario aangeven wat het oplevert aan vegetatie en/of natuurwaarde - Modellen die inverse werken: uitgaande van welke natuurwaarde je wilt rekent het model uit wat je moet doen/bepaalt het model je maatregel - Wat doet een maatregel met het organische stof gehalte (ook in relatie tot klimaatverandering/ welke vegetatie levert hoeveel organische stof op (wat bepalend is voor de vochtvoorziening) - De relatie tussen organische stof en vochthuishouding	25 bij 25 m	- Standplaatskaart waaruit je natuurwaarden kunt voorspellen inclusief de factoren die bepalend zijn voor de natuurwaarde: set van afzonderlijke kaarten: Ph, vochtigheidskaart en een voedselrijkdom-kaart is meer compleet dan deze informatie in een matrixvorm - Informatie over maatregelen moet concreet zijn: i.p.v. peil moet omhoog, het peil moet 50cm omhoog

Tabel 3.4 Informatiebehoeften Waterschap Rijn en IJssel

Waterschap Rijn en IJssel Maatregel: verondiepen watergangen om water langer vast te houden			
	Specifieke informatie-behoeften	Op welk schaalniveau? (tijd, ruimtelijk); eenheid	Informatie in welke vorm?
Klimaat-verandering	• Neerslagpatronen • Verdamping • Focus op W en W+ scenario's • Consequenties klimaatverandering voor waterschap: kaartjes met verandering in grondwaterstanden, meer natte plekken, welke zijn de droogte gevoelig gronden, welke gronden krijgen zeker last van droogte de komende 50 jaar?	• Reeksen op dagbasis • Koppel het neerslagpatroon van 30 jaar aan het grondwater-model (rekent met max. 8 • 25 bij 25m. Deze resolutie is vooral gekoppeld aan het inzichtelijk maken van (natuur)functies • Consequenties van klimaatverandering voor waterschap op beheergebied-niveau	• Samenvatting in woorden zoals nu in KNMI 06 scenario's werkt goed in communicatie naar burgers toe (info hoeft niet in de vorm van grafieken) • Kaartjes die laten zien hoe bijv. neerslag (extremen en totale neerslag per jaar) in Winterswijk verschilt van de Bilt zijn handig in communicatie • Risico/kanskaarten voor heel het stroomgebied
Grondwater	• Effect van maatregelen op GHG, GVG en GLG • Inzicht in weerstand van het grondwater naar het oppervlakte water • Relatie bodemvocht gedurende het groeiseizoen en gewasopbrengst (in combinatie met bodemstructuur) (om eventuele droogte schade te kunnen berekenen) • Effect van grondbewerkingsmaatregelen op organische stof en uiteindelijk op gewasopbrengst • Kwelfluxen voor natuur (verhouding regenwater-grondwater)	• 25 bij 25 m • Weerstand van het grondwater naar het oppervlakte water: 25 bij 25 m (is een waarde)	• Kaarten

Waterschap Rijn en IJssel Maatregel: verondiepen watergangen om water langer vast te houden			
	Specifieke informatie-behoefte	Op welk schaalniveau? (tijd, ruimtelijk); eenheid	Informatie in welke vorm?
Natuur/ landbouw	- Gewasgroei huidige situatie - Verandering in gewasgroei voor verschillende klimaatscenario's - Indicatie gewasopbrengst van bijv grasland (en andere teelten) in bepaald gebied en hoe dit verandert onder verschillende klimaatscenario's - Effect maatregel op herstel van gewenste natuurontwikkeling - Effect maatregel op gewasopbrengst	Kg/ha gewasopbrengst	Kans/risicokaarten die veranderingen in gewasopbrengst laten zien kg/ha (a.g.v. klimaatverandering)

Tabel 3.5 Informatiebehoeften LTO Noord

LTO Noord Thema's: waterretentie - inundatie			
	Specifieke informatiebehoeften	Op welk schaalniveau? (tijd, ruimtelijk); eenheid	Informatie in welke vorm?
Klimaat-verandering	- Risico op inundatie - Duur periode van droogte (early warning system)	- Perceelniveau 10 jaar	- Kaarten met kans op overstromingen (beek én neerslag) - Kaarten met risico's op inundatie per gewas - Kaarten dienen via internet beschikbaar te zijn voor agrarische ondernemers
Grondwater	Zichtbaar maken van effect van kleinschalig maatregelen als flexibel peilbeheer	Perceelniveau	-
Gewas	Koppeling gewasgroei-model en grondwater model dient informatie te geven over duur van droogteperiode t.b.v. planning berekening gewas		Via internet toegankelijk voor agrariers

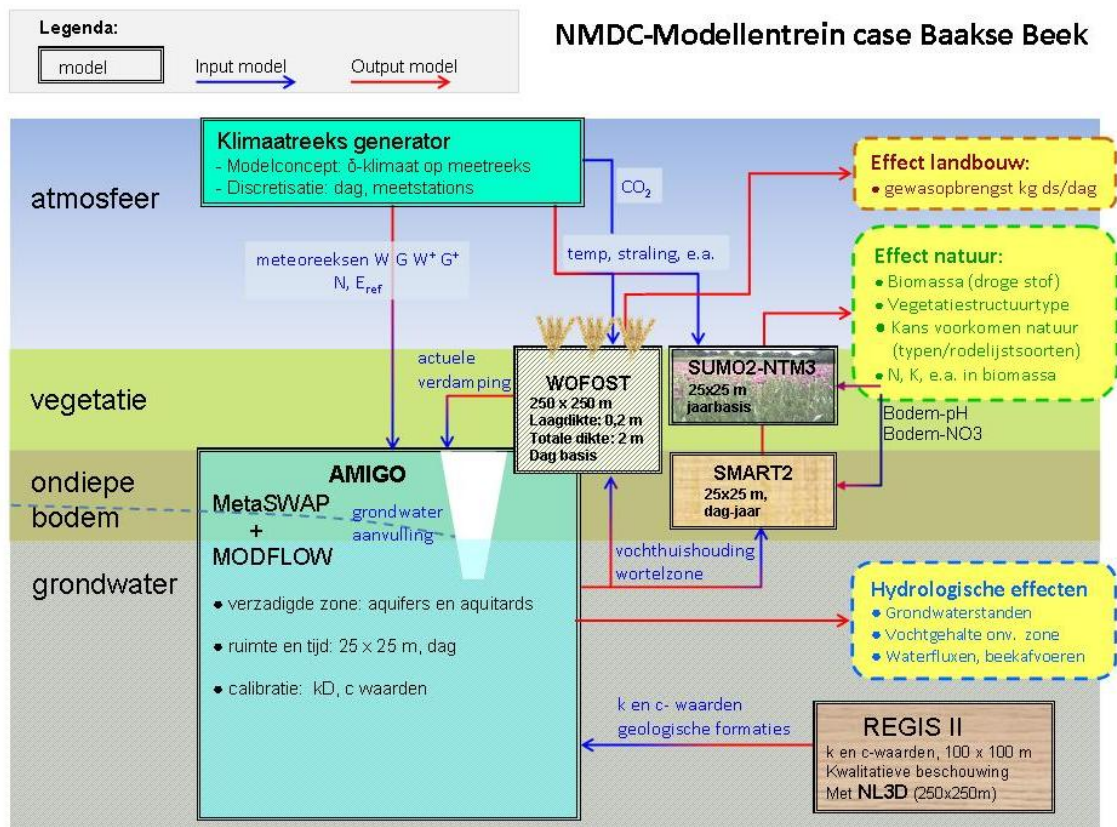
Tabel 3.6 Informatiebehoeften provincie Gelderland

Provincie Gelderland Maatregel: ruimte scanner t.b.v voorspellingen doen op basis van geschiktheid RO, natuur, landschap			
	Specifieke informatiebehoeften	Op welk schaalniveau? (tijd, ruimtelijk); eenheid	Informatie in welke vorm?
Klimaat-verandering	Klimaatsscenario's voor de Baakse Beek koppelen aan effectmodellen	- Info over klimaatverandering voor 2050 is interessant - Gedeputeerde Staten kijken naar 4 jaar	- Risicokaartjes inundatie - Kaart die op perceelniveau voor een gebied (bijv. voor de Achterhoek) de toekomstmogelijkheden voor een klimaatrobuuste landbouw laat zien op basis van waterhuishouding en maaihoogteverschillen
Grondwater	- Amigo functioneert goed - Wat nog rest is Amigo doorrekenen met klimaatscenario's en koppelen aan MetaSWAP en effectmodules	-	-
Gewas	Welke gronden zijn geschikt voor welke gewassen en hoe ontwikkelt zich dit door klimaatverandering en vernatting	25 bij 25m (250 bij 250 m – WOFOST- is voor een boer te grof) - Kwaliteit is belangrijker dan droge stof	
Natuur	- Info over herstel van het watersysteem (kwel en grondwaterstanden) is van belang voor vertaling naar welke natuurtype verwacht kan worden. - Het gaat meer om de randvoorwaarden creëren om een palet van natuurtypen te kunnen realiseren	-	-

4 Aanpak en beschrijving modelinstrumentarium

4.1 Inleiding

Voor de Baakse Beek is een modelinstrumentarium opgezet waarbij bestaande kennis en tools van de verschillende kennisinstituten aan elkaar zijn gekoppeld. Het KNMI heeft regiospecifieke en op maat gemaakte klimaatreeksen opgesteld als input voor de berekeningen. Verder wordt in dit hoofdstuk een korte introductie gegeven op het modelinstrumentarium. Details komen aan bod in hoofdstuk 5 en de bijlagen. Het modelinstrumentarium is schematisch weergegeven in het onderstaande figuur. Het gaan om instrumenten voor simulatie van de hydrologie (AMIGO), gewasopbrengst (WOFOST) en natuur (SMART2-SUMO-NTM3). Voor de geohydrologische parameters van de ondergrond werkt TNO aan een landelijk verfijnd ondergrondmodel (GeoTOP), maar dit is nog niet beschikbaar voor de Baakse beek. Vergelijkbaar met Geotop maar grover van opzet is het NL3D. Dit is wel landsdekkend operationeel maar werd bij een voorverkenning te grof geacht om toe te passen binnen AMIGO. Daarom is op dit onderdeel een meer kwalitatieve beschouwing uitgevoerd (zie paragraaf 4.2 en 5.2).



Figuur 4.1 Schematische weergave van de modelinstrumenten ingedeeld naar de compartimenten (grond)water, bodem, vegetatie en atmosfeer

4.2 KNMI klimaatreeksen

Het KNMI levert klimaattijdreeksen voor verschillende klimaatscenario's passend bij de case studie en draagt inhoudelijk bij aan de analyse van onzekerheden. Een van de onzekerheden is de toekomstige ontwikkeling van het klimaat: weervariabelen die de waterhuishouding in de

doelgebieden sterk beïnvloeden. De vier KNMI'06 klimaatscenario's geven een houvast bij het bepalen van die onzekerheid, ondanks dat niet alle mogelijke toekomstige klimaatomstandigheden in die scenario's zijn gevangen. De mogelijke veranderingen in wereldgemiddelde temperatuur en de circulatierespons daarop vertalen zich lokaal in een wijziging van de neerslag (intensiteit, verdeling over de tijd), verdamping, straling en luchtvochtigheid. Deze wijzigingen leiden op hun beurt tot mogelijke verschillen in de frequentieverdeling van hoge/lage grondwaterstanden, (potentieel) neerslagtekort en gewasopbrengsten.

De vorm waarin de verschillende onzekerheden met betrekking tot klimaat(verandering) zullen worden gepresenteerd staat niet vast en zal worden bepaald in overleg met de betrokken belanghebbenden. Het KNMI is verantwoordelijk voor het maken van de klimaatreeksen en zal deze beschikbaar stellen voor de onzekerheidsanalyse. Waar nodig zal aanvullende informatie worden gebruikt om de gekozen klimaatscenario's te duiden in termen van onzekerheid. Hierbij valt te denken aan een vergelijking tussen de bandbreedte die door de scenario's wordt opgespannen en een vergelijkbare bandbreedte gegenereerd met een groot modelensemble (UKCIP09, ESSENCE; d.w.z. een vorm van modelstructuur-onzekerheid). Maar ook de invloed van de vorm waarin de klimaatdata wordt aangeleverd (gegridde data of stationsdata) of de methode om tijdreeksen voor de toekomst te genereren (verschillende methoden voor transformeren) kan een onderwerp zijn voor de onzekerheidsanalyse.

4.3 Ondergrondmodel: NL3D

TNO is verantwoordelijk voor de schematisatie van de geologische en geohydrologische ondergrond van Nederland. Daartoe wordt gebruikgemaakt van verschillende datamodellen². Voor de regionale geohydrologische modellen wordt gebruik gemaakt van REGIS II, een ondergrondmodel waarin de lagen van watervoerende en waterscheidende lagen zijn geschematiseerd.

Nieuw is de ontwikkeling van een datamodel GeoTOP om het bovenste 30 meter van de ondergrond nauwkeurig in beeld te brengen. GeoTOP verdeelt daarbij de bodem naar blokjes van 100x100x0,5 m (lxbxh). Op basis van een analyse van boringen wordt de ruimtelijke variabiliteit van fysische en chemische parameters in de ondergrond vastgesteld, waarbij per blokje (voxel) wordt aangegeven wat de kans is op het voorkomen van bepaalde fysische, chemische kenmerken. GeoTOP is voor delen van Nederland gereed maar nog niet voor de Achterhoek en dus ook niet voor het stroomgebied van de Baakse Beek.

Een lage resolutievariant van de GeoTOP modellen is het Nederland 3D (NL3D) ondergrondmodel van TNO. Dit ondergrondmodel geeft een driedimensionaal beeld van de lithologische opbouw in de bovenste 50 m van de ondergrond van Nederland voor regionale en of landelijke toepassing. NL3D is wel voor heel Nederland operationeel. Door de stochastische benadering is in NL3D ook de onzekerheid met betrekking tot de opbouw van de ondergrond vastgelegd en gekwantificeerd. Het 3D voxelmodel, is allereerst een lithoklasse model: aan de voxels ('blokjes' met een resolutie van 250 m x 250 x 1 m (l x b x h)) is op basis van 100 modelrealisaties met gelijke waarschijnlijkheid de eigenschap 'kans op lithoklasse' toegekend: van grof zand tot veen/klei). Dit lithologische model vormt zo een drager van ondergrondse eigenschappen, zoals doorlatendheid, die kunnen worden toegekend aan de lithoklassen.

4.4 Modellerings hydrologie: AMIGO

Het hydrologische grondwatermodel AMIGO (Actueel Model Instrument Gelderland Oost) wordt gebruikt om het gebiedsproces in de Baakse Beek te ondersteunen. AMIGO is

² <http://www.dinoloket.nl/nl/about/modellen/modellen.html>

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 (van der Linden et al., 2008). Het model beslaat het gebied tussen de IJssel en de Nederlandse grens (de complete Achterhoek, zie bijlage I).

Het AMIGO model uit 2008 bestaat uit een MODFLOW model gekoppeld aan de onverzadigde zone module CAPSIM. De ondergrond is geschematiseerd in 12 watervoerende pakketten en 12 scheidende lagen op basis van REGIS v II. Het model kan op dagbasis rekenen met een resolutie van 25x25 m. Het model is gekoppeld aan een Graphical User Interface, iMOD en is bedoeld voor de 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 betreft met name een betere invoer van de detailontwatering (hoogte drainagebasis waterlopen, aan/afwezigheid sloten e.a. drainage in natuurgebieden). Verder is de bergingscoëfficiënt in de onverzadigde zone in het model CAPSIM aangepast omdat de GLG in het model niet genoeg uitzakte. De meest recente versie van het AMIGO model aanwezig bij het waterschap is opgevraagd om toe te passen binnen deze studie. Voor nadere details van het model wordt verwezen naar de bijlage I.

4.5 Modellerings landbouw: WOFOST

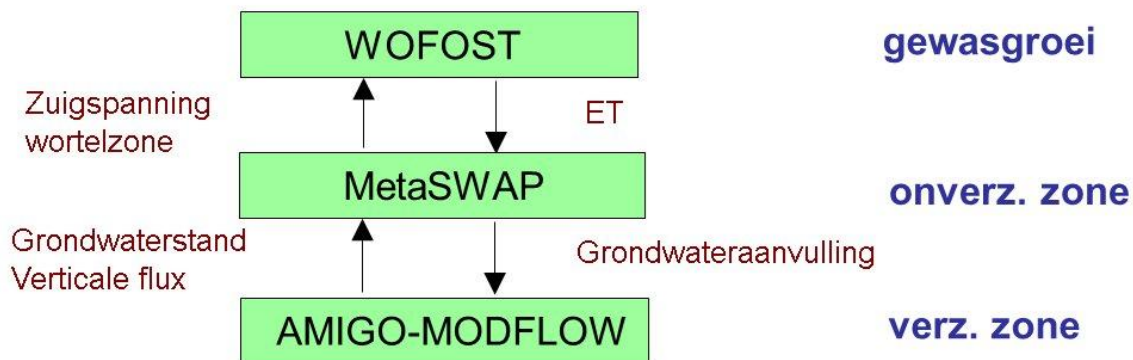
Voor landbouw is de modellering gericht op de gewasgroei. De meeste modellen gericht op het simuleren van gewasgroei berekenen de potentiële productie op basis van 'light use efficiency' of op basis van fotosynthese. In Europa wordt het model WOFOST (World Food STudies)³ veel toegepast (zie ook bijlage II). Dit model gebruikt de fotosynthese benadering voor potentiële productie en de Penman-Monteith vergelijking inclusief een gewasfactor voor water-gelimiteerde productie. De waterbalans optie van WOFOST gebruikt een vrij eenvoudige reservoir benadering voor de bodem begrensd tot een maximale worteldiepte (zoals opgegeven per gewas). Omdat het is ontwikkeld voor toepassingen op hogere schaalniveaus, zijn diverse processen versimpeld. Omdat ook diverse default waarden worden gehanteerd, hoeven relatief weinig rekenparameters geschat te worden en is de structuur van het model doorzichtig. WOFOST kan gekoppeld worden aan een hydrologisch model dat de vochthuishouding meer in detail beschrijft. Het model wordt onderhouden en verder ontwikkeld door WUR-Alterra, in samenwerking met de Plant Production System Group van de WUR en de Agri4Cast unit van het Joint Research Centre in Italy.

Door de WUR wordt momenteel wetenschappelijk onderzoek verricht naar een koppeling met het onverzadigde zone model SWAP en MetaSWAP. De modelcombinatie SWAP-WOFOST is op perceelsniveau gekalibreerd voor gras en aardappels (Kroes & Supit, 2011). Met deze modelcombinatie zijn bij de kalibratie bevredigende resultaten verkregen onder verschillende condities (verschillend qua weerjaren en bemestingniveaus) en zijn gewasopbrengsten gebiedsdekkend gemodelleerd voor de Baakse Beek met AMIGO-MetaSWAP-WOFOST. Hierdoor is een goede koppeling gelegd tussen hydrologie en gewasproductie, maar ook een terugkoppeling van gewasproductie naar hydrologie. Tevens houdt WOFOST rekening met het effect van CO₂ op transpiratiereductie en gewasgroei. De uitwisseling van informatie tussen de verschillende modellen is weergegeven in figuur 4.2.

3

<http://www.wofost.wur.nl/UK/>

Binnen het NMDC project was geen ruimte om de berekende opbrengsten te toetsen aan regionaal gemeten en geregistreerde gewasopbrengsten. Wel is globaal gekeken hoe de berekende opbrengsten zich verhouden tot door CBS geregistreerde opbrengsten in oostelijk zandgebied in 2003 en 2009.



Figuur 4.2 Uitwisseling van informatie tussen het verzadigde zone model MODFLOW, onverzadigde zone model MetaSWAP en het gewasproductiemodel WOFOST.

4.6 Modellering natuur: SMART2-SUMO2-NTM3

4.6.1 SMART2-SUMO2

Voor natuur is in deze case studie de modellering van bodem en natuurlijke vegetatie binnen de modelketen SMART2-SUMO2 gekoppeld aan het hydrologische model AMIGO-MetaSwap. 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 250m x 250m.

SMART2-SUMO2 kan op regionale en nationale schaal de langjarige effecten van o.a. atmosferische depositie en beheersmaatregelen op de bodem en de vegetatie berekenen. SMART2 is de bodemmodule en SUMO2 de vegetatiemodule, welke volledig zijn geïntegreerd middels terugkoppeling op jaarbasis. Alle uitspraken worden gedaan op jaarbasis. Het SMART2 model bestaat uit een set van massa-balansvergelijkingen, welke de input-ouput relaties beschrijven van een bodemcompartiment, en een set van vergelijkingen voor de beschrijving van snelheids- en evenwichtprocessen in de bodem (Kros et al. 1995, Mol-Dijkstra & Kros 2001, Kros 2002). In bijlage III wordt een overzicht gegeven van de processen die in SMART2 worden gemodelleerd.

SUMO2 (Wamelink et al. 2000, Wamelink et al. 2009a,b) is een subroutine van SMART2 bedoeld om:

- De vegetatieontwikkeling, met name successie en daarmee samenhangende processen te kunnen simuleren.
- Modellering van de invloed van vegetatiebeheer mogelijk te maken.
- Terugkoppeling van de vegetatieontwikkeling naar de bodem mogelijk te maken.

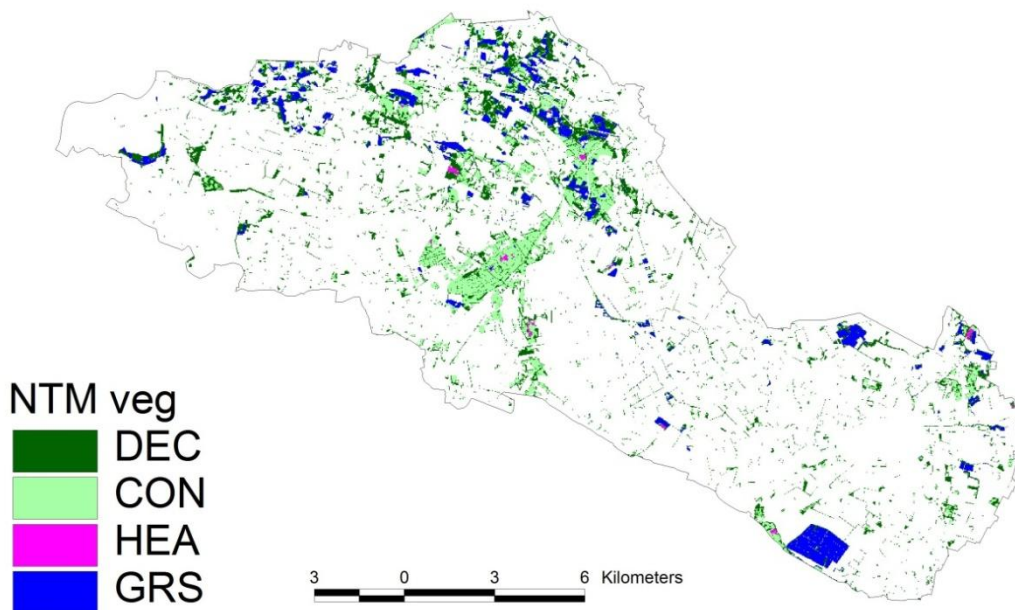
De drijvende kracht in SUMO is de biomassa ontwikkeling. Biomassagroei wordt gesimuleerd op basis van stikstofbeschikbaarheid, lichtbeschikbaarheid, grondwaterstand en beheer. In SUMO concurreren vijf functionele typen elkaar om nutriënten en licht. Recent is het effect van de klimaat gerelateerde factoren van temperatuur, kooldioxide concentratie en neerslag ingebouwd (Wamelink et al. 2009). De groei kan worden beperkt door het beheer. De vijf functionele typen zijn: climaxbomen, pionierbomen, struiken, dwergstruiken en kruiden

(inclusief grassen). De hoeveelheid biomassa die per functioneel type aanwezig is, bepaalt het voorspelde vegetatiestructuurtype. Hierdoor wordt het mogelijk successie te voorspellen. Zo kan een grasland na staken van het beheer zich ontwikkelen naar een bos. Door SUMO worden 12 structuurtypen gemodelleerd. In elk structuurtype zijn de vijf functionele typen aanwezig, al kan de hoeveelheid biomassa gering zijn (bijv. struiken in grasland). Voor meer informatie over SMART2-SUMO2 en de koppeling ervan met het hydrologische model wordt verwezen naar bijlage III.

4.6.2 NTM3

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 vegetatieopnamen waarvan per opname de Ellenbergwaarden voor vocht (F), zuurgraad (R) en nutriëntenbeschikbaarheid (N) is berekend. Op basis van de aanwezige soorten in een opname is ook de zogenaamde natuurbehoudswaarde van de opname berekend met de zogenaamde Gelderland methode (Hertog & Rijken 1996, zie ook Witte et al. 2011). In de Gelderland-methode wordt de natuurwaarde berekend op basis van de waarde van afzonderlijke soorten. De soortwaarde wordt bepaald door de nationale zeldzaamheid, internationale zeldzaamheid, tendens, kwetsbaarheid in Gelderland, indigeniteit (mate van inheems zijn) en type vegetatie waarvoor de soort kenmerkend is. De natuurwaarde van de beschouwde ruimtelijke eenheid wordt vervolgens berekend als de som van de soortwaarden van de daarin voorkomende soorten. De natuurwaarde varieert tussen de 0 en het aantal voorkomende soorten vermenigvuldigd met hun soortwaarde. De zo verkregen natuurbehoudswaarde per opname is gecombineerd met de Ellenberg getallen van de opname en vervolgens gebruikt om het model NTM3 te kalibreren. Bij een gegeven F, R en N waarde (uit SMART2) en vegetatiestructuurtype (uit SUMO2) wordt dan een potentiële natuurwaarde berekend, die als maat voor de biodiversiteit wordt gebruikt. Een hoge waarde duidt dan op een hoge kans om rode lijst soorten aan te treffen, een lage waarde om alleen algemene soorten aan te treffen. Waarden liggen gewoonlijk tussen 6 en 20, hebben geen eenheden en moeten vooral relatief ten opzichte van elkaar worden bekeken. NTM3 maakt onderscheid in vier vegetatiestructuurtypen: loofbos, naaldbos, heide en grasland, die ook de belangrijkste vormen van beheer vertegenwoordigen (voor de ligging van de vier typen in het Baakse Beek gebied zie figuur 4.3). Bossen hebben over het algemeen lagere waarden dan grasland (uitgezonderd natte loofbossen), heidevelden hebben de hoogste waarden.

Een voorbeeld van een toepassing van de modelketen SMART2-SUMO2-NTM3 is beschreven door Kooistra et al. (2008). In die studie is voor de uiterwaarden van de Millingerwaard onderzocht wat het effect van maaien en begrazen is op de biomassa ontwikkeling, successie en natuurwaarde in het gebied.



Figuur 4.3 Vegetatietypen in NTM termen, met DEC: loofbos, CON: naaldbos, HEA: Heide en GRS: natuurlijk grasland.

4.7 Modelkoppelingen

Voor de case studie Baakse Beek zijn de volgende modelkoppelingen uitgevoerd:

1. Actualisering van AMIGO door vervanging van het onverzadigde zone model CAPSIM (Wesseling, 1991) met MetaSWAP (Van Walsum & Veldhuizen, 2011), gevolgd door een herkalibratie van AMIGO-MetaSWAP op basis van gemeten grondwaterstanden en stijghoogten.
2. Online koppeling van AMIGO-MetaSWAP aan WOFOST (gewasproductie).
3. Offline koppeling van AMIGO aan SMART2-SUMO2-NTM3 (standplaats- en natuurwaardemodel). Via een nabewerkingsmodule is de uitvoer van AMIGO op dagbasis geaggregeerd naar jaartotalen zodat dit als invoer kon dienen voor SMART2.

Ten behoeve van de case Baakse beek zijn de onderstaande werkzaamheden uitgevoerd:

Aanmaak klimaatreeksen door KNMI:

- Aanmaken grids voor met regiospecifieke verdeling neerslag en verdamping
- Aanmaken klimaatreeksen voor Penman-Monteith methode
- Aparte rapportage over onzekerheden in klimaatgegevens (Bessembinder, 2012).

Hydrologische modellering door Deltares:

- Operationeel maken van de meest recente versie van het AMIGO model (versie van Waterschap Rijn & IJssel, 2011)
- Vervangen onverzadigde zone module CAPSIM door MetaSwap
- Vergelijking AMIGO-CAPSIM met AMIGO-MetaSwap
- Herkalibratie Amigo-MetaSwap.

- Berekening referentiesituatie (huidig, 30 jarige reeks: 1981 t/m 2010) en de vier KNMI klimaatscenario's (zichtjaar 2050: 1935 t/m 1965) met gekalibreerde AMIGO-MetaSWAP model
- Gevoeligheidsanalyse AMIGO-MetaSWAP
- Kwalitatieve beschouwing op onzekerheden.

Modellering natuur (bodem-vegetatie) met SMART2-SUMO2-NTM3 door Alterra:

- Aanpassen en vergrinden van de bodemkaart naar 25*25m schaal.
- Aanpassen en vergrinden van de beheertypenkaart (hiervoor is LGN6 gebruikt) naar een resolutie van 25*25m. In combinatie met gegevens uit de vierde bosstatistiek is een invoerkaart voor vegetatietype (op 25*25m schaal) en het bijbehorende beheer gemaakt. Het beheer wordt uitgevoerd volgens de gewenste verdeling zoals landelijk vastgelegd voor de beheertypen. Dit beheer komt dus niet altijd precies overeen met het in werkelijkheid uitgevoerde beheer. Gegevens over het ter plekke uitgevoerde beheer ontbreken.
- Koppeling tot stand brengen tussen AMIGO en SMART2-SUMO2.
- Rekenscenario's modelinstrumentarium SMART2-SUMO2 huidige situatie en klimaatverandering.
 - huidige situatie (1981 t/m 2010 huidige meteoreeks KNMI-station), doorgetrokken tot 2035 t/m 2065 waarbij sprake is van lineaire interpolatie voor de periode tussen 2010 en 2035 uitgaande van het gemiddelde van 1980-2010 en het gemiddelde van 2036-2065. Op deze manier is de bodem- en vegetatieontwikkeling voor alle scenario's over dezelfde periode meegenomen en ontstaan verschillen alleen door de verschillen tussen de scenario's.
 - Doorrekenen van en W+ klimaatscenario's en vergelijking t.o.v. referentie situatie.

Gewasopbrengsten akkerbouw met WOFOST door Alterra:

- Genereren input WOFOST op basis van meteogegevens van KNMI (referentie situatie en toekomstscenario's)
- Schematisering bodem en genereren input voor Wofost
- Afstemming onderrandvoorwaarde Wofost – Amigo.

Onzekerheden geohydrologische parameters ondergrond door TNO

Zoals aangegeven heeft TNO alleen NL3D als ondergrondmodel beschikbaar. NL3D gaat uit van een 250 x 250 m grid, terwijl AMIGO een 25 x 25 m grid hanteert. Uit de discussies binnen het project consortium wordt door de relatieve lage laterale resolutie van NL3D vermoed dat opname van het ondergrondmodel NL3D, voorzien van opgeschaalde doorlatendheden uit de REGIS doorlatendheid database, niet directe meerwaarde zal opleveren ten opzichte van het bestaande hydrologische modelinstrumentarium. Door het ontbreken van meer gedetailleerde ondergrondmodellen wordt de rol van TNO in deze case dan ook beperkt tot het geven van kwalitatieve beschouwingen omtrent de potentie en rol van het GeoTOP ondergrondmodel en de daaraan gerelateerde onzekerheden binnen de modelketen.

Gevoeligheidsanalyse modelinstrumentarium

- Evaluatie van variatie in modelinvoer AMIGO op voor de modelkoppeling relevante hydrologische uitvoer parameters.
- Evaluatie van enkele rekenscenario's om de onzekerheden m.b.t. belangrijkste inputdata SMART2-SUMO2 te kwantificeren.

Naast dit deelrapport zal voor de onzekerheidsanalyse nog een aparte rapportage worden verzorgd.

5 Resultaten modellering hydrologie, landbouw en natuur

5.1 Klimaatreeksen

In deze paragraaf wordt een beschrijving gegeven van de informatiebehoefte van de modellen ten aanzien van de meteorologische invoer en de bewerkingen die zijn uitgevoerd ten behoeve van het realiseren van die invoer.

5.1.1 Informatiebehoefte

In de Baakse beek wordt een geohydrologisch model ingezet waarmee op basis van de neerslag en factoren voor verdamping op dagbasis de aanvulling van het grondwater, aan- en afvoer naar oppervlaktewater en de grondwaterstroming wordt berekend. Daarnaast wordt ook een gewasmodel en een natuurvoorspellingsmodel ingezet waarmee op basis van de meteorologische omstandigheden in combinatie met de door het geohydrologische model berekende vochttoestand van de bodem de groei van vegetatie wordt gesimuleerd.

Beide modelstudies maken gebruik van de volgende meteorologische variabelen op dagbasis:

- RD 24-uursom neerslag van 8.00 UT vorige dag en 8.00 UT huidige dag [mm]
- TN etmaalminimum temperatuur [°C]
- TX etmaalmaximum temperatuur [°C]
- TG etmaalgemiddelde temperatuur [°C]
- SP relatieve zonneschijnduur [%]
- Q globale straling [$\text{kJm}^{-2}\text{d}^{-1}$]
- E dampspanning [hPa]
- FG etmaalgemiddelde windsnelheid [ms^{-1}]

Referentie gewasverdamping berekend volgens Makkink wordt ook bijgeleverd ter vergelijking:

- EV24 etmaalsom referentiegewasverdamping volgens Makkink [mm].

Informatiebehoefte meteo Baakse Beek

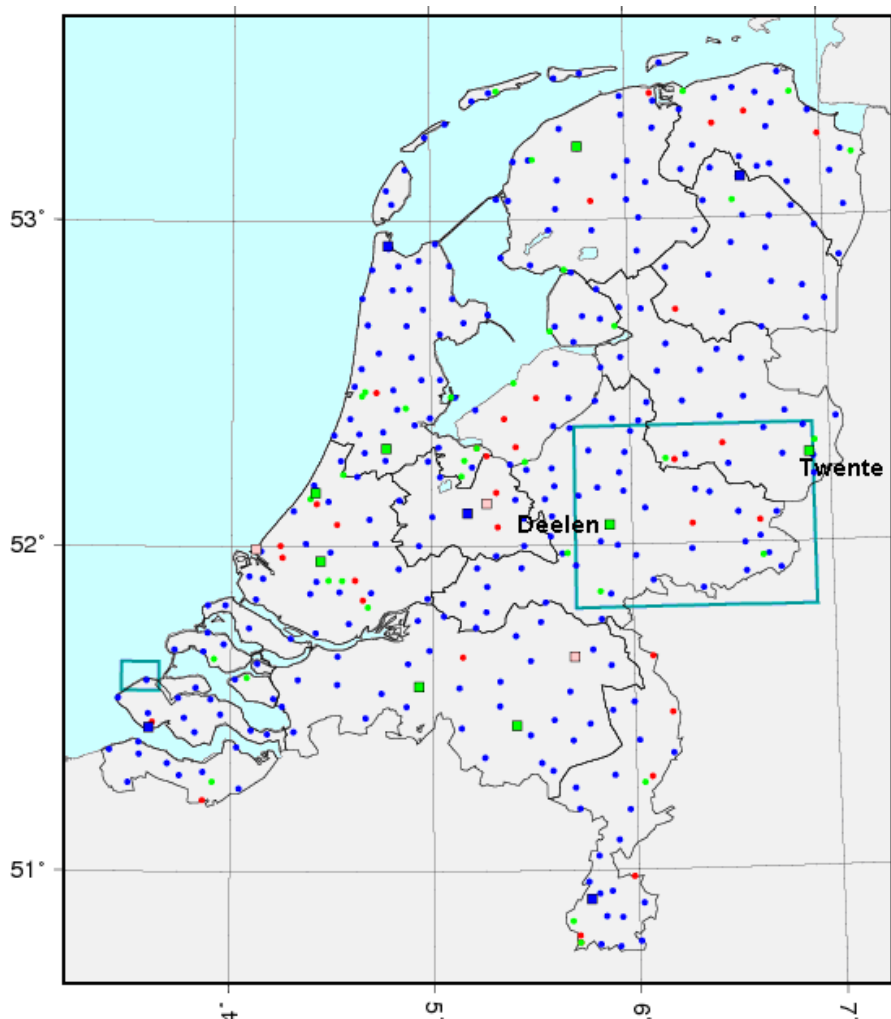
Het accent is de case Baakse Beek ligt op de beschikbaarheid van het grondwater voor de vochtvoorziening van gewassen en grondwaterafhankelijke natuur, de grondwaterstanden en de basenrijkdom van het (kwel)water in de wortelzone van natuur. Het interessegebied is voor de Baakse Beek relatief groot. Daarom is bij het genereren van de meteorieksen ook gekeken hoe de ruimtelijke verschillen kunnen worden meegenomen (paragraaf 5.1.5).

Voor de Baakse Beek wordt met het geohydrologische model, het gewas- en natuurmodel gerekend met de referentieperiode 1981-2010. Als klimaatscenario's wordt gerekend met het zichtjaar 2050. Voor het zichtjaar 2050 is uitgegaan van een periode 2035-2065. In deze studie wordt gekeken naar het verschil tussen de referentieperiode en de toekomst.

Het natuureffectmodel heeft ook behoefte aan meteodata voor de periode 2010-2035, aangezien SMART2-SUMO2 een continue periode met vegetatiesuccessie wil kunnen modelleren. Omdat voor de periode 2010-2035 effecten niet geëvalueerd worden, zijn de eisen aan deze reeksen minder streng. De tussenliggende meteo is door de modelleers zelf geprepareerd (lineaire interpolatie tussen 2010 en 2035).

5.1.2 Beschikbare data

In figuur 5.1 zijn alle beschikbare meteo meetstations van het KNMI met daarop geprojecteerd de modelgebieden van twee cases die voor de NMDC Kritische zone zijn geselecteerd, te weten Baakse beek en Walcheren. Het modelgebied voor de Baakse beek is aanzienlijk groter dan de Walcheren case.



Figuur 5.1 KNMI-metstations beschikbaar in de periode 1981-2010. KNMI-neerslagstations worden weergegeven door gevulde cirkels. De blauwe stations hebben voor de gehele periode metingen, de groene stations zijn gestart in de periode en de rode gestopt. De vierkanten staan voor de KNMI-hoofdstations (AWS) die in 01-01-1981 al gestart waren.

Neerslag wordt gebaseerd op de KNMI neerslagstations (cirkels in Figuur 5.1) waar elke morgen om 8.00 UT de neerslag van de afgelopen 24 uur wordt afgetapt. De overige variabelen worden gebaseerd op de KNMI-weerstations (AWS) (vierkanten Figuur 5.1).

In het modelgebied van de Baakse Beek liggen twee AWS-en (275-Deelen en 290-Twenthe). Binnen het gebied is, met uitzondering van de neerslag, de klimatologie van alle andere variabelen redelijk homogeen (www.klimaatatlas.nl). Daarom kan voor deze variabelen volstaan worden met de tijdreeksen van metingen op deze twee stations. Globale straling (Q) wordt op 275-Deelen pas gemeten sinds 10 april 1987 en 290-Twenthe sinds 16 april 1987. Stralingsdata van vóór deze tijd zijn aangevuld op basis van De Bilt en relatieve zonnenschijnduur (zie kopje "Aanvullen globale straling"). Neerslagklimatologie kent wel grote klimatologische verschillen. Daarom is voor de neerslag gekozen voor reeds bestaande

gegridde dataset (paragraaf 5.1.5) die is samengesteld voor de kalibratie van het NHI (Hoogewoud et al., 2011).

Aanvullen globale straling

De modellen vragen om nauwkeurige metingen of schattingen op dagbasis van alle in paragraaf 5.1.1 genoemde variabelen. Straling (Q) wordt van deze variabelen het kortst gemeten en is daarom sterk bepalend voor de maximale reekslengte. Op 275-Deelen en 290-Twente wordt pas sinds april 1987 straling gemeten. Globale straling gemeten op 260-De Bilt kan gebruikt worden voor een nauwkeurige schatting van dagelijkse straling op de drie andere AWS-en. Hiermee zijn de stralingsreeksen van AWS 275 en 290 verlengd tot en met 1 januari 1981.

Traditioneel worden deze reeksen aangevuld met stralingsreeksen van andere AWS-en. Via “trial-and-error” is voor deze studie een alternatieve methode ontwikkeld, waarbij een schaling met de straling van De Bilt met een factor op basis van het verschil in relatieve zonnenschijnduur zeer goede resultaten gaf (vergelijking 1 en figuur 5.2).

$$\hat{Q}_{stn} = Q_{260} \exp(a(SP_{stn} - SP_{260}) + b) \quad (1)$$

Waar

$\hat{Q}_{stn}$ = de geschatte straling voor station stn

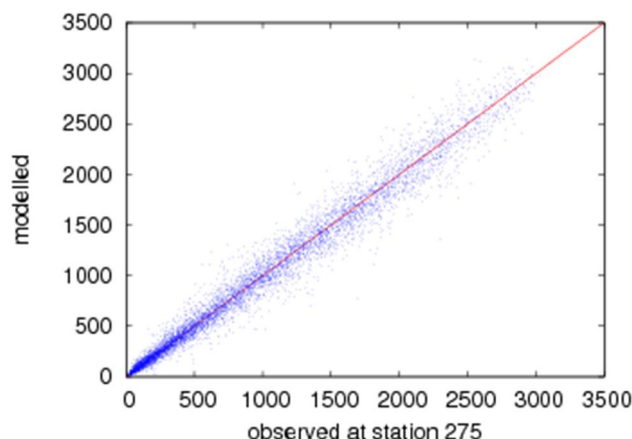
Q_{260} = de gemeten straling op station 260-De Bilt

SP_{stn}, SP_{260} = de gemeten relatieve zonnenschijnduur op stations stn en 260-De Bilt

a, b = coëfficiënten geschat uit de lineaire regressie (vergelijking 2)

$$Q_{stn} - Q_{260} = a \ln(SP_{stn} - SP_{260}) + b \quad (2)$$

voor de overlappende periode met stralingsmetingen.



Figuur 5.2 Gemeten vs gemodelleerde (vgl. 1 en 2) globale straling [$\text{kJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$] voor AWS 275.

Verdamping

De referentiegewasverdamping E_{ref} [mm] is afgeleid van de gemiddelde temperatuur T [°C] en de geschatte of gemeten globale straling Q [J/m^2]. Hierbij is gebruik gemaakt van de

Makkink-formule (Makkink, 1957) zoals geschreven in het handboek waarnemingen van het KNMI (vergelijking 3).

$$E_{ref} = \frac{1000 \cdot 0,65 \cdot \delta(T)}{(\delta(T) + \gamma(T)) \cdot \rho \cdot \lambda(T)} Q \quad (3)$$

Waarbij $\rho=1000\text{kg/m}^3$ de soortelijke massa van water is. $\delta(T)$ [hPa/°C] de afgeleide van de verzadigingsdampspanning naar de temperatuur is, die via de verzadigingsdampspanning e_s [hPa] (vergelijking 4) wordt afgeleid van T (vergelijking 5).

$$e_s(T) = 6,107 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T}{237,3+T}} \quad (4)$$

$$\delta(T) = \frac{7,5 \cdot 237,3}{(237,3 + T)^2} \cdot \ln(10) \cdot e_s(T) \quad (5)$$

De psychrometerconstante $\gamma(T)$ [hPa/°C] en de verdampingswarmte van water $\lambda(T)$ [J/kg] zijn ook afhankelijk van T volgens de vergelijkingen 6 en 7.

$$\gamma(T) = 0,646 + 0,0006 \cdot T \quad (6)$$

$$\lambda(T) = 1000 \cdot (2501 - 2,38 \cdot T) \quad (7)$$

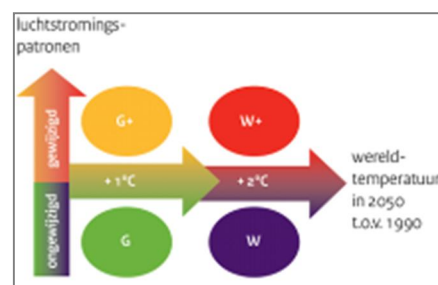
Klimaatscenario's en bijpassende tijdreeksen

Tijdreeksen voor de toekomst worden verkregen door de veranderingsfactoren volgens de KNMI'06 klimaatscenario's (zie paragraaf 5.1.3) toe te passen op de historische meteorologische tijdreeksen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de laatste versie 2.0 van het transformatieprogramma, dat is ontwikkeld door het KNMI (zie paragraaf 5.1.4). Voor straling en dampspanning zijn geen veranderingsfactoren beschikbaar. Toekomstige tijdreeksen voor deze variabelen zijn indirect afgeleid. Voor wind worden de historische tijdreeksen zonder transformatie gebruikt, omdat de verandering veel kleiner is dan de interjaarlijkse variabiliteit.

5.1.3 KNMI'06 Klimaatscenario's

In mei 2006 lanceerde het KNMI vier algemene klimaatveranderingsscenario's voor Nederland (Van den Hurk et al., 2006; 2007). Deze KNMI'06 scenario's geven voor het jaar 2050 en 2100 voor zowel de winter als de zomer de verandering van diverse klimatologische variabelen zoals de gemiddelde neerslag en temperatuur, aantal natte dagen, maar ook de verandering in extremen. De geprojecteerde verandering is afhankelijk van de wereldwijde temperatuurstijging en van veranderingen in de grootschalige atmosferische circulatie.

De scenario's zijn onder andere bedoeld om verkennende studies uit te voeren naar de effecten van klimaatverandering en mogelijke adaptatie. De klimaatscenario's doen geen uitspraken over het weer op een bepaalde datum, maar alleen over het gemiddelde weer en de kans op extreem weer in de toekomst. Het huidige klimaat is hiervoor beschreven met gegevens over de periode 1976 tot en met 2005 (ofwel het klimaat in de 30 jaar rond het 1990). De scenario's voor rond 2050 en rond 2100 zijn representatief voor het klimaat in de periode rond dat jaar.



In een aanvulling (KNMI, 2009) concludeert het KNMI dat de KNMI'06 klimaatscenario' niet zijn achterhaald door recente wetenschappelijke ontwikkelingen tussen 2006 en 2009. Ook volgens de huidige inzichten beschrijven de vier KNMI'06 scenario's samen de meest waarschijnlijke veranderingen in Nederland met bijbehorende onzekerheden. Nieuwe inzichten geven wel aan dat de snelle opwarming van de afgelopen jaren in Nederland en West-Europa het beste wordt beschreven in de W/W+ scenario's. De toename van de intensiteit van relatief kortdurende zware buien in de zomer is goed weergegeven in de G/W scenario's en wordt in de G+ en W+ scenario's mogelijk onderschat met de verandering die wordt gegeven voor de hoeveelheid neerslag die eens in de 10 jaar in 24 uur wordt overschreden.

5.1.4 Transformatieprogramma

Achtergrond

Spoedig na het uitkomen van de klimaatscenario's kwam vooral uit hydrologische hoek de roep om bijpassende meteorologische tijdreeksen op dagbasis voor het hele jaar rond. Hiervoor is eind 2006 een interpolatiemethode bedacht om de veranderingsfactoren voor de winter en zomer te vertalen naar twaalf maandwaarden (Bakker en Bessembinder, 2012). Verder is er een online-tool (www.knmi.nl/klimaatscenarios/tijdreekstransformatie) beschikbaar gesteld die deze veranderingsfactoren (zowel in het gemiddelde als in extremen) toepast op historische tijdreeksen met neerslag en temperatuur om tijdreeksen die passen bij de KNMI'06 klimaatscenario's. Sinds het beschikbaar komen van de eerste versie zijn er enkele veranderingen doorgevoerd om de temporele en ruimtelijke consistentie te verbeteren. De verschillende versies zijn gebruikt in een groot aantal wetenschappelijke en populair-wetenschappelijke publicaties (zie Bessembinder et al., 2011; Bakker en Bessembinder, 2012).

In de "Aanvullingen op de KNMI'06 klimaatscenario's" (KNMI, 2009) geven Klein Tank en Lenderink aan dat de mogelijke verandering van het klimaat waarschijnlijk niet homogeen over Nederland verdeeld is. In de G+ en W+ scenario's verwachten we bijvoorbeeld dat de hevige buien in de zomer in de kustzone relatief meer in intensiteit kunnen toenemen dan meer in het binnenland. In de volgende generatie klimaatscenario's zal dit verschil waarschijnlijk beter gekwantificeerd worden, maar de KNMI'06 scenario's en bijbehorende tools zoals het transformatieprogramma kennen nog geen ruimtelijke differentiatie. Ruimtelijke verschillen tussen verschillende getransformeerde tijdreeksen (zelfde scenario en tijdshorizon) worden dus louter veroorzaakt door verschillen tussen de historische tijdreeksen.

Transformatie

De neerslagtransformatie bestaat uit twee stappen. Eerst wordt het aantal natte dagen aangepast door natte dagen "droog" of droge "nat" te maken. Vervolgens wordt een machtsfunctie toegepast om de hoeveelheid van de natte dagen aan te passen.

Voor de gemiddelde temperatuur gebruikt het transformatieprogramma een "pragmatic linear percentile scaling" om de absolute verandering te bepalen. Voor de minimum en maximum temperatuur op dezelfde dag wordt dezelfde absolute verandering toegepast.

Verdamping

Voor de verdamping is geen apart programma beschikbaar. Voor de transformatie van de referentiegewasverdamping E_{ref} [mm] zijn echter wel veranderingen per maand gepubliceerd (Bakker en Bessembinder, 2012; http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/PotET.pdf). Omdat de KNMI'06 scenario's alleen relatieve veranderingen van het gemiddelde van E_{ref} geeft, kan gebruik worden gemaakt van een simpele Deltamethode (vergelijking 8).

$$E_{ref}^* = (1 + a_i)E_{ref} \quad (8)$$

Hierin is E_{ref}^* de getransformeerde waarde en a_i de relatieve verandering die afhankelijk is van de kalendermaand i .

Straling en zonneshijnduur

Voor straling Q en relatieve zonneshijnduur SP worden geen veranderingswaarden gegeven in de KNMI'06 scenario's. Voor elke dag kan de toekomstige waarde voor de straling Q^* afgeleid worden van de getransformeerde verdamping E_{ref}^* en temperatuur T^* door gebruik te maken van de Makkinkformule (vergelijking 3 t/m 7).

Per dag wordt voor de SP vervolgens dezelfde relatieve verandering als berekend voor Q toegepast. Hierbij wordt er wel gezorgd dat de getransformeerde waarde niet groter dan 100% kan worden (vergelijking 9).

$$SP^* = \min(100\%, (Q^* / Q)SP) \quad (9)$$

Dampspanning

De KNMI'06 scenario's gaan ook niet kwantitatief in op veranderingen in de vochtigheid. Voor deze studie is gebruik gemaakt van een methode die ontwikkeld voor een project in samenwerking met Deltares (Kallen et al., 2008). Hierbij wordt gebruik gemaakt van de relatie tussen de afname in relatieve vochtigheid ΔUG [%] en de toename in de relatieve globale straling (= de inkomende straling aan het oppervlak gedeeld door de inkomende straling aan de top van de atmosfeer (Klein Tank en Buishand, 1995).

In het huidige klimaat bedraagt de relatieve globale straling in de zomer gemiddeld ongeveer 40% en kan de absolute verandering in de relatieve vochtigheid ΔUG als volgt afgeleid worden van de relatieve verandering in de globale straling ΔQ (vergelijking 10).

$$\Delta UG = -0.36\Delta Q \quad (10)$$

Op individuele zomerdagen kan de relatieve globale straling groter of kleiner dan 40% zijn. Op zeer zonnige dagen (relatieve globale straling groter dan 40%) wordt, door de aanname van een constante relatieve globale straling, de reductie van de relatieve vochtigheid als gevolg van een toename van de globale straling onderschat terwijl op zeer bewolkte dagen (relatieve globale straling kleiner dan 40%) de reductie van de relatieve vochtigheid als gevolg van de toename van de globale straling overschat. Het is zelfs mogelijk dat de historische waarde UG en de verandering ΔUG samen kleiner zijn dan 0% of groter dan 100%. In dat geval wordt de getransformeerde waarde UG^* 0% of 100% (vergelijking 11).

$$UG^* = \min(100\%, \max(0\%, UG + \Delta UG)) \quad (11)$$

Gemiddeld over een hele zomer of een zomerhalfjaar is er echter geen systematische afwijking in de reductie van de relatieve vochtigheid als gevolg van een toename van de globale straling te verwachten en is de verandering in de relatieve vochtigheid dus consistent met de veranderingen in de overige variabelen in de klimaatscenario's, maar op individuele dagen is die consistentie niet gewaarborgd.

Overige seizoenen

De relatie die is afgeleid voor de zomer is in deze studie ook gebruikt voor de overige seizoenen. Dit kan in principe voor kleine systematische afwijkingen zorgen.

Dampspanning

Uiteindelijk hebben de gebruikers dampspanning nodig. Deze is afgeleid van de getransformeerde **vochtigheid** en de verzadigingsdampspanning (afgeleid van T^* via vergelijking 4).

5.1.5 Vergriden van neerslag en verdamping

Neerslag - referentieperiode

In verband met de wens om de referentiedata zo snel mogelijk beschikbaar te hebben is er voor gekozen om gebruik te maken van een bestaande vergridde dataset op 1x1 km resolutie (de resolutie is geen maat voor de nauwkeurigheid). Deze dataset is gemaakt voor de kalibratie van het NHI (*kalibratie referentiedataset*). Voor het interpoleren van de dagelijkse neerslag is gebruik gemaakt van alle beschikbare neerslagstations (gekleurde rondjes in figuur 5.1) op de desbetreffende dag.

De set van gebruikte neerslagstations varieert dus met de tijd. Tussen 1981 en 2010 is het aantal neerslagstations echter vrij stabiel. In het modelgebied voor de Baakse Beek zijn 5 stations gestopt (rode cirkels, figuur 5.1) en 4 stations opgestart (groene cirkels, figuur 5.1), waarvan één een voortzetting van het gestopte station Deventer. Gezien het grote aantal beschikbare stations wordt niet verwacht dat dit tot grote inhomogeniteiten zal leiden.

Neerslag - klimaatscenario's

Vergridde neerslagdata voor de KNMI'06 klimaatscenario's zijn verkregen door voor de interpolatie eerst de gemeten neerslag op de neerslagstations te transformeren volgens het desbetreffende klimaatscenario (zie paragraaf 5.1.4). Hierbij is alleen gebruik gemaakt van de neerslagstations, waarbij voor de gehele periode data beschikbaar zijn en waar voor elke maand maximaal één waarneming mist. Het aantal stations is hierdoor iets kleiner dan gebruikt voor de kalibratie referentiedataset (283 versus 295 voor heel Nederland).

Twee van de gebruikte meetstations stations zijn op 1 januari 1995 verplaatst. Voor deze stations zijn de coördinaten van na de verplaatsing gebruikt.

Station 733 Vlissingen-Ritthem
Station 977 Beesel-Reuver

Interpolatie van neerslagdata

De interpolatie is gedaan met Ordinary Kriging met genormaliseerde stationsdata (vierkantsworteltransformatie). Na interpolatie wordt de data terug getransformeerd waarbij rekening wordt gehouden met de hoeveelheid nulwaarden in de brondata (zie Schuurmans et al., 2007). Voor iedere dag wordt automatisch een variogram gefit met een vastgestelde nuggetwaarde van 0, waardoor de interpolatie exact is: de geïnterpoleerde waarde op het punt komt overeen met de gemeten waarde op het punt. Het variogrammodel is sferisch of exponentieel, afhankelijk van de beste fit. Inherent aan de methode is dat de minimale en maximale waarden in de geïnterpoleerde kaart nooit lager of hoger zijn dan de minimale en maximale waarden in de invoerdata. De interpolatiemethode is kwantitatief en kwalitatief gevalideerd zoals beschreven in Soenario en Sluiter et al. (2010).

Verdampingsreeksen

Gedurende het project is aanvullend gevraagd om een vergridde verdampingsset. Deze sets zijn als volgt samengesteld.

In totaal zijn er 14 automatische weerstations in Nederland (vierkanten in figuur 5.1) waar voor de gehele periode 1981-2010 dagelijkse globale straling beschikbaar is of geschat kan worden met de methode zoals beschreven in paragraaf 5.1.2: 210-Valkenburg, 235-De Kooy, 240-Schiphol, 260-De Bilt, 270-Leeuwarden, 275-Deelen, 280-Eelde, 290-Twenthe, 310-Vlissingen, 344-Rotterdam, 350-Gilze-Rijen, 370-Eindhoven, 375-Volkel, 380-Maastricht.

Behalve voor Eelde en Leeuwarden, zijn ontbrekende waarden geschat op basis van straling en relatieve zonnenschijnduur in de Bilt en relatieve zonnenschijnduur op het desbetreffende station. Ontbrekende waarden voor Eelde zijn geschat met behulp van gegevens van Leeuwarden en omgekeerd.

E_{ref} is vervolgens geschat op basis van de Makkink formule (zie vergelijkingen 3 t/m 7). Het gebruik van de stralingsschattingen zoals hiervoor beschreven maakt het mogelijk om 14 stations te gebruiken voor de interpolatie in plaats van 5 stations. Het is echter niet gekwantificeerd hoeveel winst dit oplevert.

Voor de klimaatscenariogrids zijn de verdampingsreeksen eerst getransformeerd zoals beschreven in paragraaf 5.1.4.

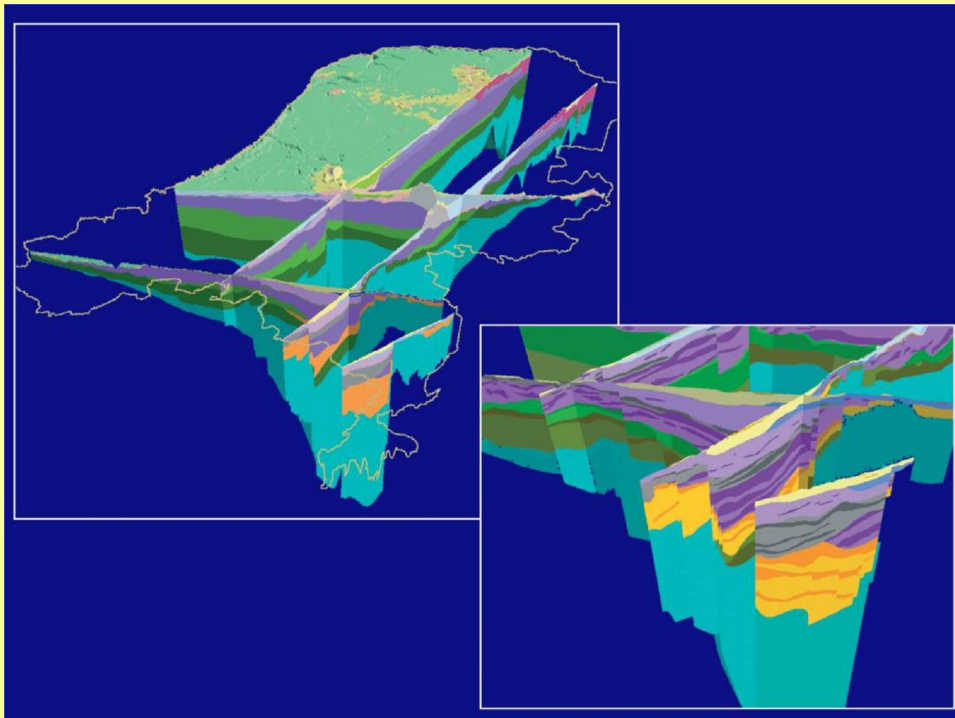
De referentiegewasverdamping zoals geobserveerd of geschat voor de 14 meetstations is vergrid door het gebruik van splines (Hiemstra en Sluiter, 2011). De smoothing parameter λ is voor iedere dag ingesteld op 0,004. Theoretisch is het mogelijk dat in bepaalde gevallen de spline-interpolatie negatieve getallen produceert. In deze datasets wordt hiervoor gecorrigeerd en hebben negatieve waarden de waarde 0 gekregen.

5.2 Beschouwing ondergrondmodel

De ondergrond schematisatie van het AMIGO model is gebaseerd op het hydrogeologische model REGIS II.0 (Vernes en van Doorn, 2005). In het AMIGO model vormen de onderscheiden kleiige REGIS lagen, die voorzien zijn van verticale doorlatendheden, de weerstandsbiedende lagen. Tijdens de grondwatermodellering is door middel van kalibratie (representermethode, Valstar et al., 2004) de waarde van de verticale weerstand binnen de verspreidingsgrenzen van de kleiige REGIS lagen geoptimaliseerd. Op locaties waar in REGIS II geen kleiige laag is gekarteerd, is in het automatische kalibratieproces geen extra weerstand geïntroduceerd in het AMIGO model (pers. com. Marijn Kuijper, Deltares).

REGIS II

Het hydrogeologische model REGIS II heeft een landelijke dekking en een regionale toepassingschaal, waarbij de laterale gridresolutie 100 x 100 m is. De input wordt, net als DGM dat als geologische framework model de grondslag vormt voor REGIS II, hoofdzakelijk gevormd door een selectieset van ongeveer 16500 boringen uit de DINO database, die een relatief hoogwaardige boorbeschrijving hebben. De onderscheiden hydrogeologische lagen (zandige, kleiige en venige lagen) worden in verticale zin homogeen verondersteld, er is sprake van een 3D lagenmodel. Ook de verbreidingsgrenzen van de hydrogeologische lagen zijn voornamelijk gebaseerd op de selectieset aan boringen. Op basis van een database met doorlatendheden per hydrogeologische eenheid worden aan lagen in REGIS horizontale (voor de zandige eenheden) dan wel verticale (voor de kleiige/venige eenheden) doorlatendheden toegekend die lateraal kunnen variëren. De actuele versie van REGIS II is momenteel REGIS II.1, eind 2012 wordt REGIS II.2 opgeleverd.



Impressie van DGM (boven) en REGIS II (onder). De donker gekleurde lagen zijn de kleiige lagen, de lichtgekleurde lagen zijn de zandige lagen

Voor de Baakse Beek case, waarbij met effectmodellen voor gewasopbrengst en natuurwaarde een veel meer 'lokale' toepassingschaal wordt nagestreefd, is er behoefte aan meer detail in de ondergrond schematisatie. Met het NL3D model wordt de bovenste 50 m van de Nederlandse ondergrond met een groter verticaal detail in beeld gebracht in vergelijking met REGIS II. Het is in algemene zin niet eenvoudig om de 3D ondergrondschematisaties zoals opgezet in NL3D in te brengen in AMIGO omdat AMIGO een quasi-3D model is waar scheidende lagen niet expliciet in zijn opgenomen. Om gebruik te maken van NL3D dient een nieuwe vertaalslag gemaakt te worden naar een regionale geohydrologische schematisatie (afwisseling van aquifers en aquitards) en aangesloten moeten worden op de diepere AMIGO-lagen. Deze werkzaamheden werden echter te

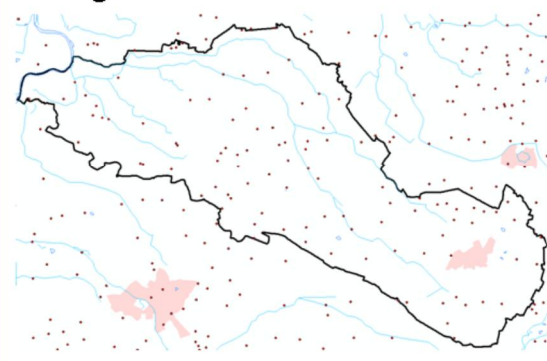
omvangrijk geacht om binnen deze case studie op te kunnen pakken. Daarnaast is de horizontale resolutie van NL3D (250x250 m) tamelijk grof ten opzichte van AMIGO (25x25 m) waardoor verwacht werd dat dit problemen zou kunnen opleveren voor de AMIGO resultaten. Dit heeft er toe geleid dat qua ondergrond alleen een kwalitatieve beschouwing zal worden gegeven op NL3D in relatie tot REGIS II.

Nederland 3D

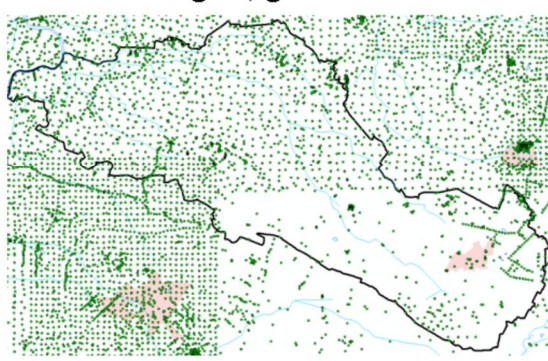
Nederland 3D is een nieuw product van de Geologische Dienst Nederland en geeft een driedimensionaal beeld van het bovenste deel van de ondergrond. Het model bestaat uit zogenaamde voxels (~volume cellen) van 250 bij 250 meter in de horizontaal en een dikte van 1 meter. Nederland3D is een stochastisch ondergrondmodel. Er zijn meerdere modelrealisaties uitgevoerd, die verschillende beelden van de lithologische opbouw van de ondergrond geven met een gelijke waarschijnlijkheid. Aan elke voxel zijn de volgende eigenschappen gekoppeld: 'gemiddelde' lithostratigrafie, 'gemiddelde' lithoklasse, en de kans op het voorkomen van de lithoklasse. De volgende verschillende lithoklassen zijn gemodelleerd: veen, klei, zandige klei/kleig zand, fijn zand, matig grof zand, grof zand en grind. Middels de lithoklasse database van REGIS is het in principe ook mogelijk om een 3D doorlatendheidsveld te genereren. Er is landsdekkend gemodelleerd van 50 m onder NAP tot aan de Vaalserberg (325 m boven NAP). Er zijn twee verschillen met de GeoTOP modellen, ten eerste zijn de afmetingen van de voxels bij Nederland 3D groter dan bij GeoTOP, er is dus minder detail zichtbaar in Nederland 3D. Ten tweede is de mate van geologische sturing die in het model gestopt wordt bij Nederland 3D vele malen minder dan bij GeoTOP. Om alle cellen van het model te kunnen plaatsen in de juiste stratigrafische eenheid is wel gebruik gemaakt van het Digitaal Geologisch Model (DGM). Nederland 3D geeft echter nu al wel een volledig landsdekkend voxelmodel van de ondergrond, terwijl GeoTOP op dit moment nog alleen voor de provincies Zeeland en Zuid-Holland beschikbaar is.

Anders dan DGM en REGIS, waarvoor een selectieset van boringen is gebruikt, zijn voor Nederland3D alle DINO boringen (exclusief die met een slechte kwaliteit boorbeschrijving) gebruikt en ook de boringen van de Universiteit Utrecht. In totaal zijn ongeveer 530.000 boringen opgenomen in de dataset van Nederland3D.

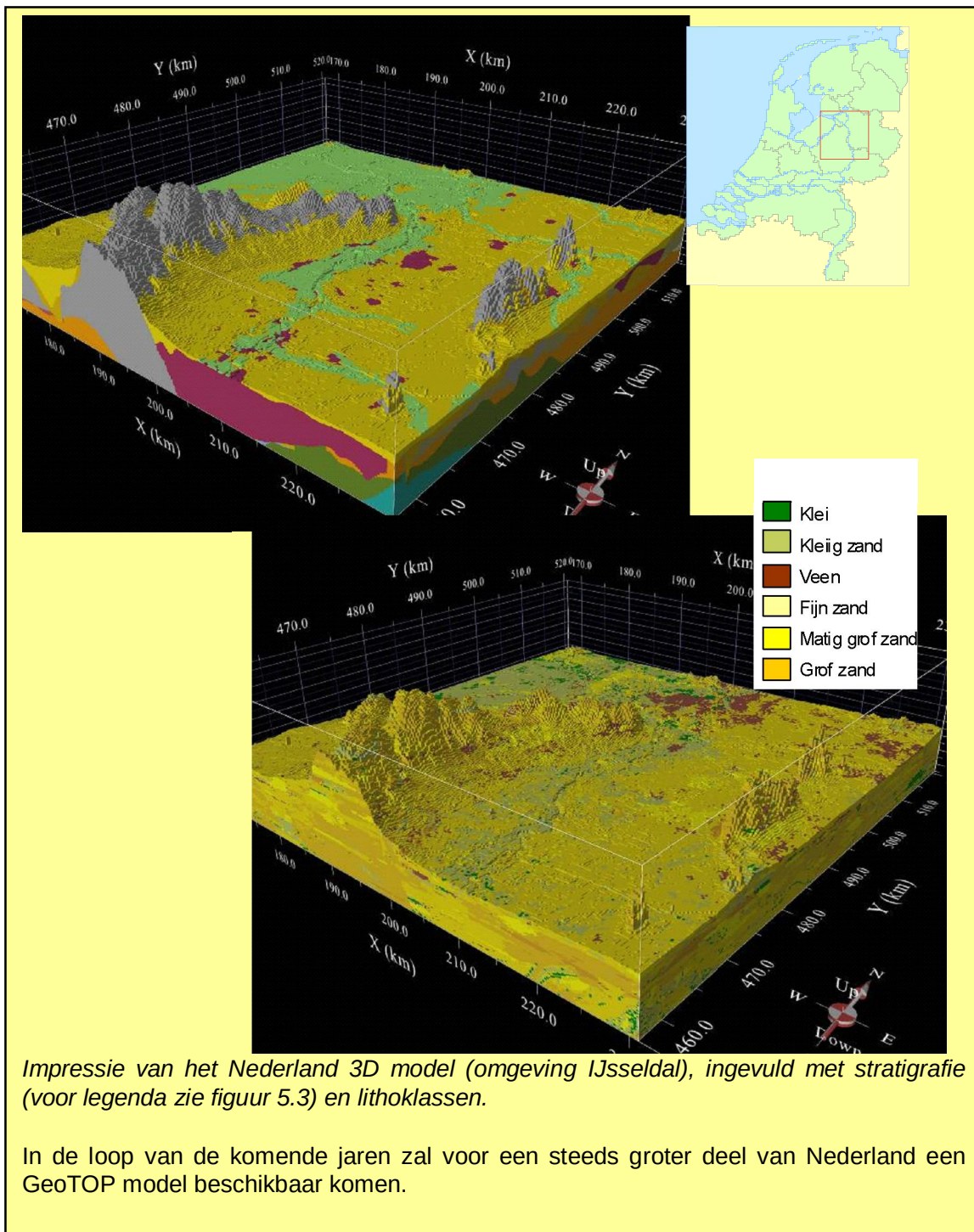
Boringen REGIS-II

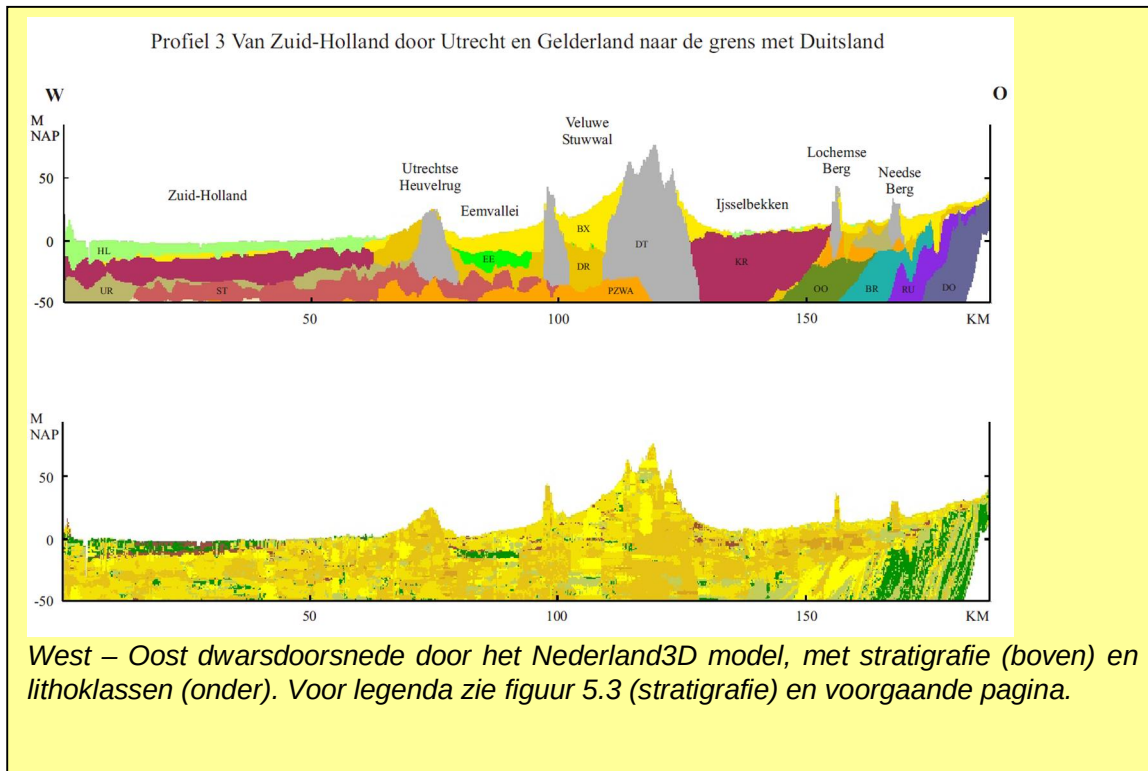


DINO boringen, gebruikt in NL3D



Vershil in boordichtheid bij REGIS-II en NL3D

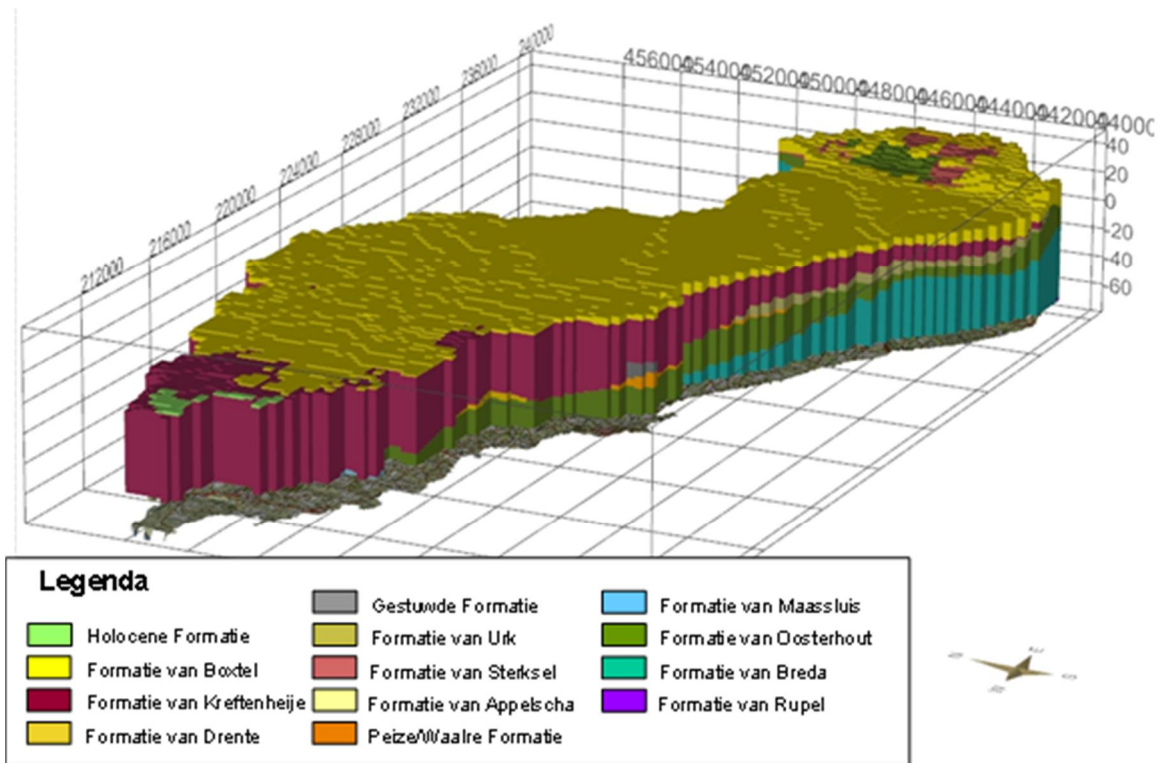




5.2.1 Analyse

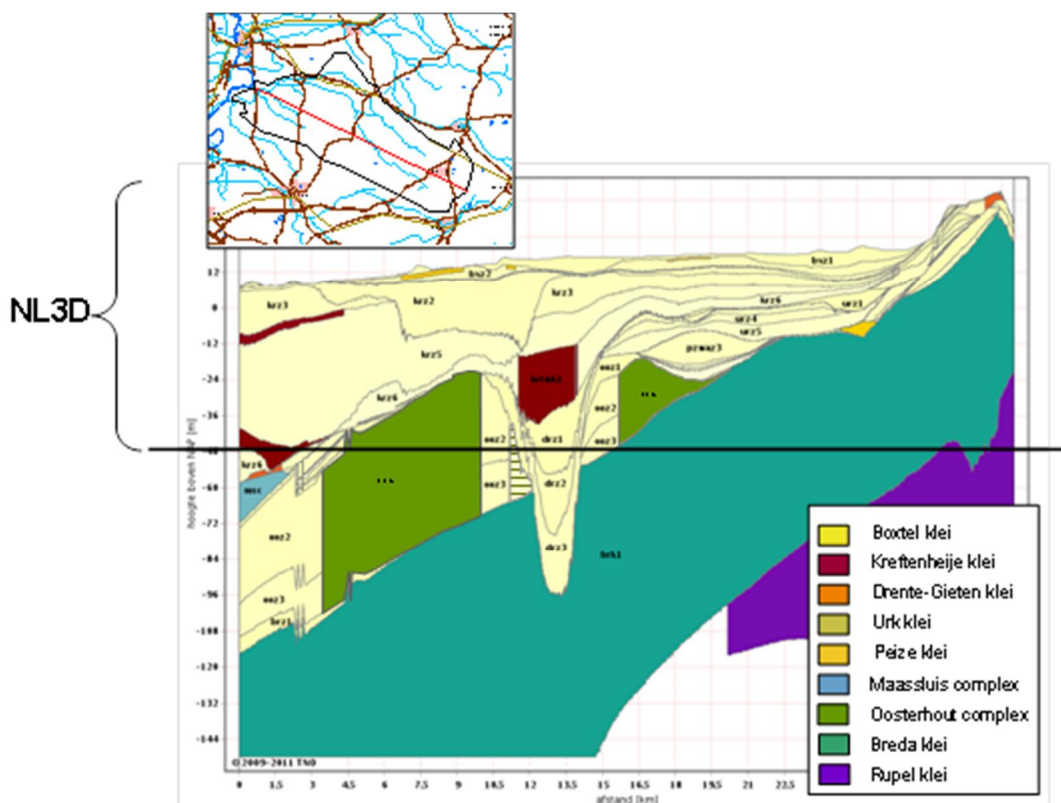
Er is dus een kwalitatieve analyse uitgevoerd, waarin beoordeeld is in hoeverre het NL3D model extra informatie levert over de mogelijke aanwezigheid van weerstandsbiedende lagen in de ondiepe ondergrond ten opzichte van de gekarteerde kleiige lagen in REGIS II.0. Het stochastische modelconcept van NL3D biedt de mogelijkheid om (los gezien van de relatief grove resolutie) een genuanceerd beeld te geven van de onzekerheid met betrekking tot het al dan niet voorkomen van klei, zandig klei en/of veen afzettingen.

In figuur 5.3 wordt een indruk gegeven van de lithostratigrafische opbouw van de ondergrond in de Baakse Beek. Ter referentie wordt in figuur 5.3 een kaart gepresenteerd van de oppervlaktegeologie op basis van NL3D in en rond het stroomgebied.

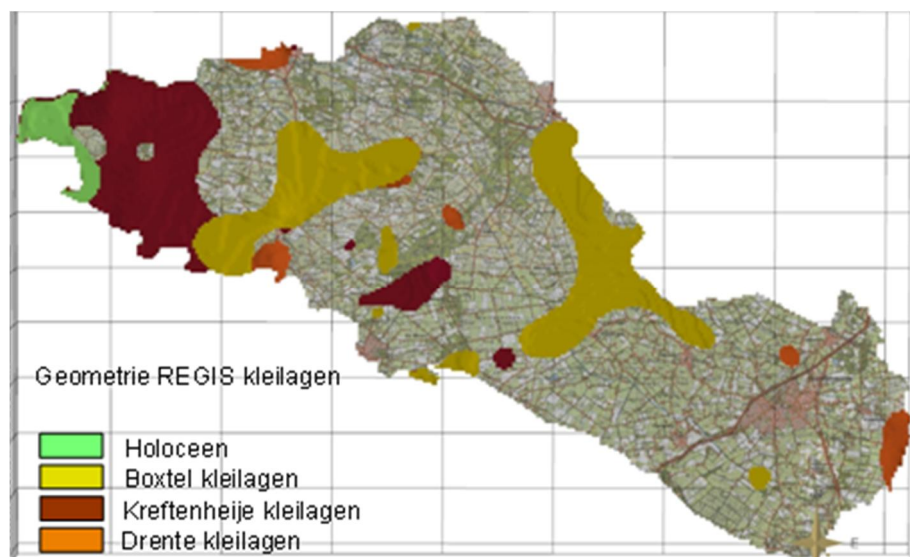


Figuur 5.3 Lithostratigrafie van de bovenste 60 m van de ondergrond in de Baakse Beek in 3D perspectief met zicht vanuit het zuid-westen. Het hooggelegen 'keileemplateau' in het uiterste oosten van het modelgebied is goed te herkennen.

In onderstaande figuren 5.4 en 5.5 wordt in een dwarsdoorsnede en kaartbeeld de geometrie van de bovenste, in REGIS II.0 aanwezige kleiige lagen in het Baakse Beek gebied getoond, zoals die in het AMIGO model zijn opgenomen.



Figuur 5.4 NO-ZO dwarsdoorsnede door het REGIS II.0 model in het Baakse beek stroomgebied. Het Nederland3D dieptebereik is aangegeven.



Figuur 5.5 Geometrie van de REGIS II.0 kleiige lagen in het Baakse Beek stroomgebied, zoals opgenomen in AMIGO

In de analyse is gefocust op de ondiep gelegen weerstandbiedende eenheden binnen de Formatie van Boxtel en de kleiige afzettingen binnen de Formatie van Kreftenheije, die ook nog binnen het NL3D dieptebereik vallen.

Formatie van Boxtel

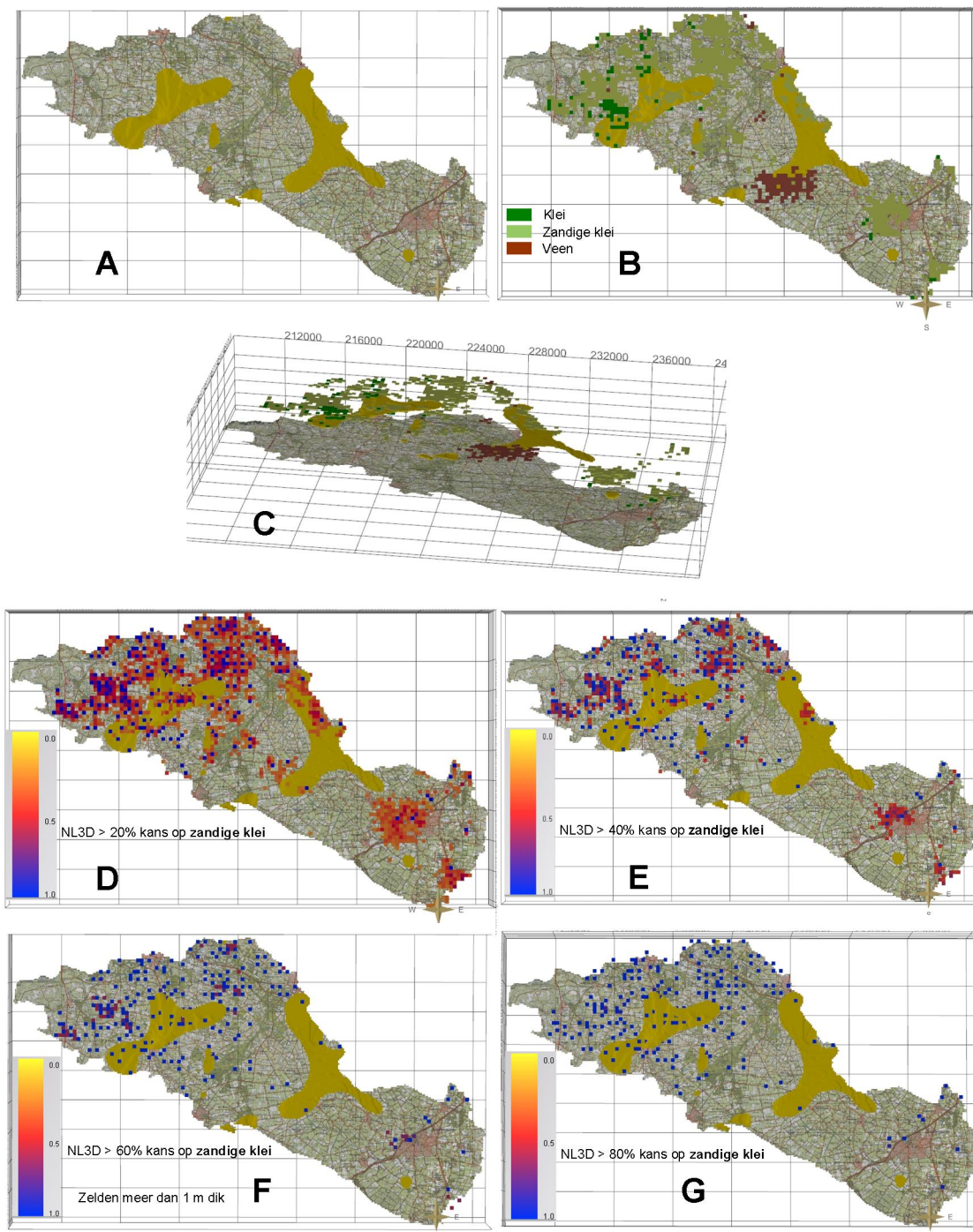
Het resultaat van de analyse van de weerstandbiedende afzettingen (modelvoxels gevuld met veen, klei, zandige klei lithoklassen) binnen de Formatie van Boxtel is weergegeven in figuur 5.6. Figuur 5.6A laat de ligging van de REGIS II.0 kleiige lagen zien. In figuur 5.6B is de ligging van de klei (groen), zandige klei (lichtgroen) en veen(bruin) lithoklassen zoals het 'gemiddelde' Nederland 3D model laat zien, toegevoegd. In 5.6C is dit nog eens in 3D perspectief (zicht vanuit zuidoosten) weergegeven, hieruit blijkt de ondiepe ligging van deze Buxtelformatie en de geringe dikte.

Dit kaartbeeld doet veronderstellen dat de Formatie van Boxtel in het westen van het stroomgebied behoorlijk kleiig is ontwikkeld. Dit komt niet tot uiting in de REGIS lagen. Ook net ten westen van Lichtenvoorde lijkt meer hydraulische weerstand in de vorm van zandige klei aanwezig te zijn, terwijl in het centrale deel (tussen Zelhem en Lichtenvoorde) een gebied met veel veen opvalt.

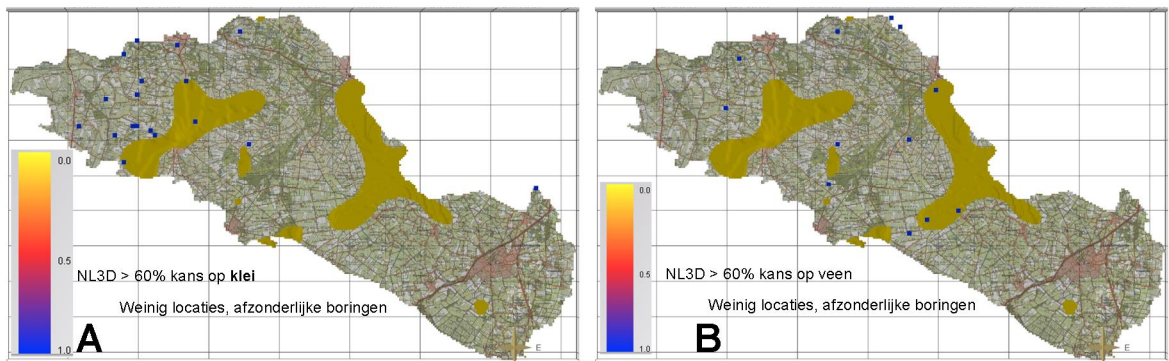
De kaartjes 5.6D-5.6G met de kans op zandige klei (de meest voorkomende slechtdoorlatende lithologie) nuanceren het zandige klei kaartbeeld aanzienlijk. Naarmate de onzekerheid op zandige klei afneemt (grotere kans) worden gebieden waarin de zandige klei voorkomt steeds kleiner. In het westelijk deel resteren bij een kans van meer dan 60% op zandige klei (figuur 5.6F) een 6-tal gebieden waar geclusterde voxels voorkomen, de overige voxels vertegenwoordigen separate boringen waar zeer lokaal een zandige kleilaag voorkomt. Ook in het gebied direct ten westen van Lichtenvoorde is het aaneengesloten gebied waar met meer dan 60% zekerheid kan worden aangenomen dat er een zandige kleilaag voorkomt kleiner dan uit fig 5.6B blijkt.

Uit het model is tevens op te maken dat deze zandige kleilagen meestal minder dan 1 meter dik zijn. Met een gemiddelde verticale doorlatendheid van de zandige klei in de Formatie van Boxtel van 0.004 m/d die in REGIS wordt gebruikt, komt 50 cm tot 1 m zandige klei overeen met 125 tot 250 dagen weerstand. In de geclusterde gebieden mag dus met 60% kans worden verondersteld dat in de ondiepe ondergrond dit soort weerstandslagen aanwezig zijn.

Ook voor de geclusterde klei en veengebieden in figuur 5.6B geldt dat, in de kaartbeelden met meer dan 60% kans op klei/veen (figuur 5.7A/B) gebieden met aaneengesloten veen/kleilagen niet meer tot uiting komen, met andere woorden, de kans op aaneengesloten lagen is relatief laag.



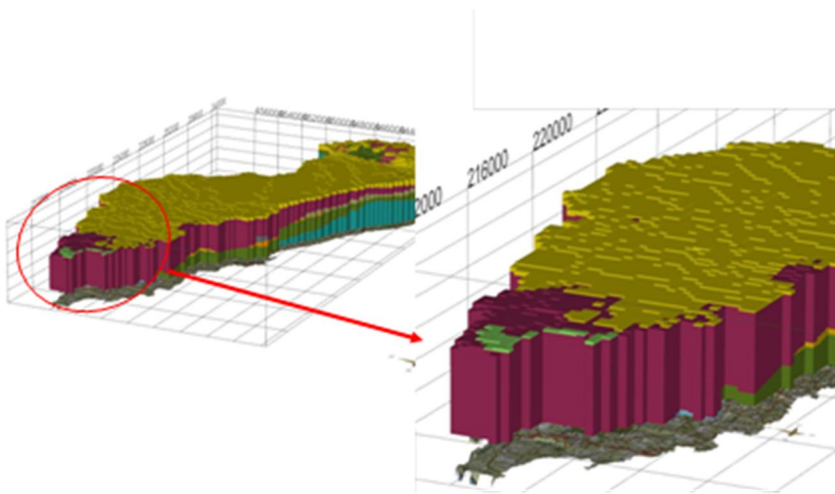
Figuur 5.6A-G Vergelijking tussen weerstandsbiedende lagen in REGIS II.0 en NL3D binnen de Formatie van Boksmeerboord; 5.6 D-F: 20, 40, 60 respectievelijk 80% kans op zandige klei; voor verdere verklaring zie tekst.



Figuur 5.7A-B: Vergelijking tussen weerstandsbiedende lagen in REGIS II.0 en NL3D binnen de Formatie van Bodegraven, 60% kans op klei en veen, voor verklaring zie tekst.

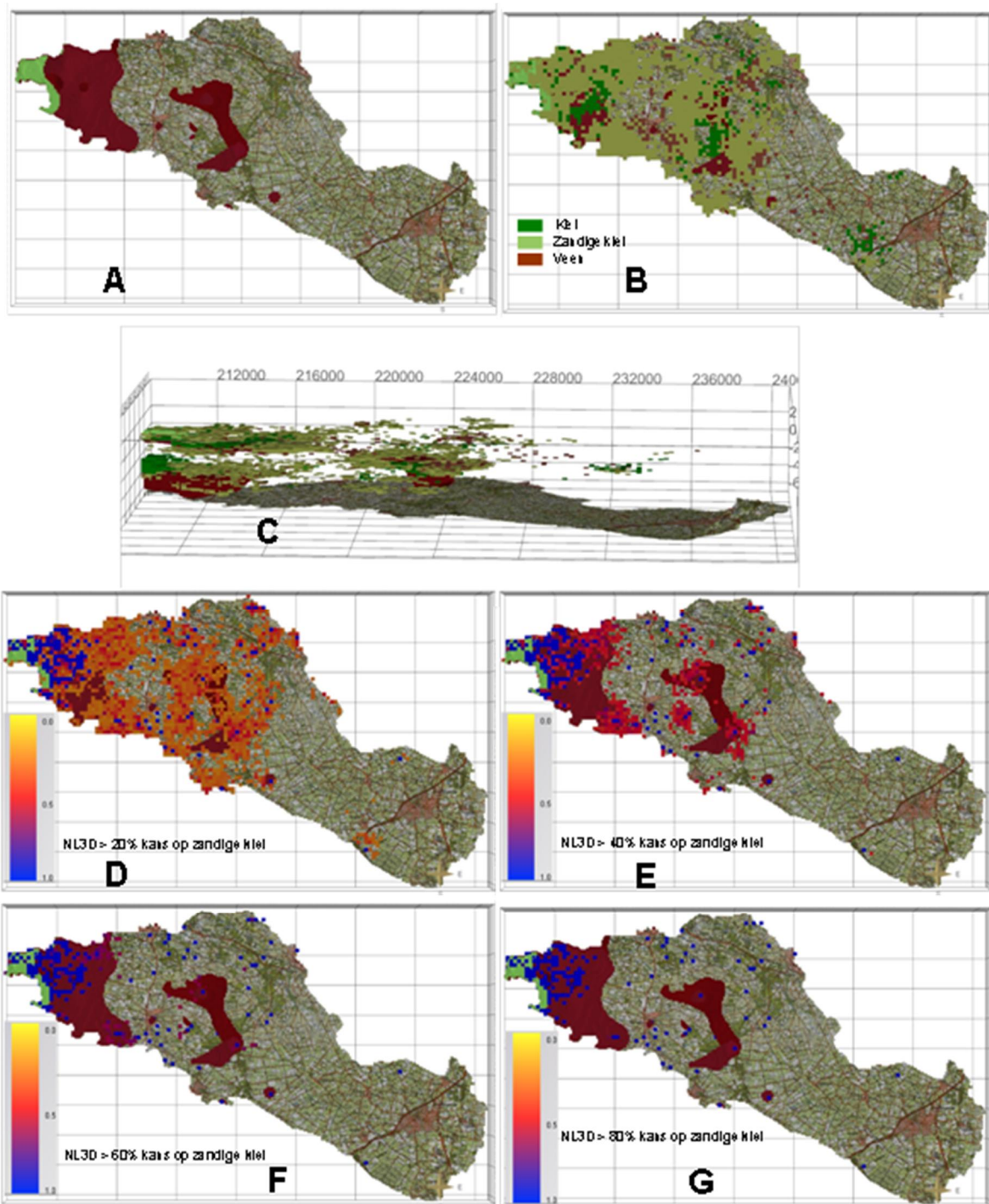
Formatie van Kreftenheije + Holocene deklaag

Bij de analyse van de weerstandsbiedende afzettingen (modelvoxels gevuld met veen, klei, zandige klei lithoklassen) binnen de Formatie van Kreftenheije is het kleine gebied aan de westgrens, waar sprake is van een dun Holocene dek, toegevoegd, omdat het onderscheid tussen Holocene en Kreftenheije klei afzettingen niet goed te maken is (zie figuur 5.8).

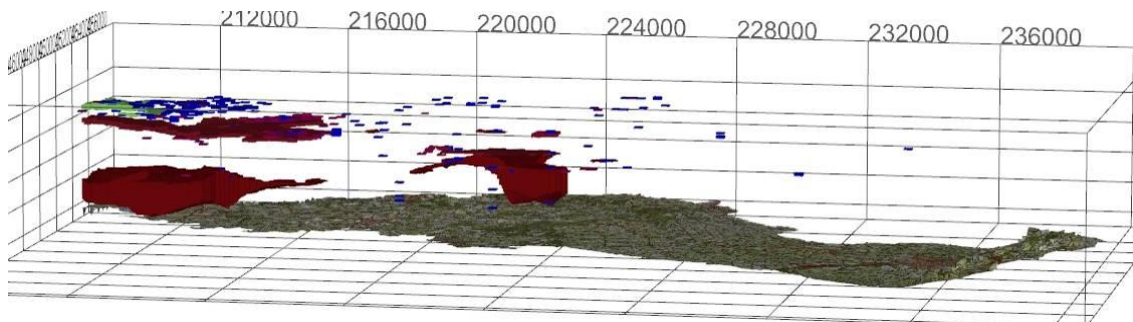


Figuur 5.8 Bij de analyse van weerstandsbiedende lagen in de Formatie van Kreftenheije is de dunne Holocene deklaag in het westen van het stroomgebied geïncorporeerd..

Het resultaat van de analyse is weergegeven in figuur 5.9. Figuur 5.9A laat de ligging van de REGIS II.0 kleiige lagen zien binnen de Formatie van Kreftenheije en de Holocene deklaag. In figuur 5.9B is de ligging van de klei (groen), zandige klei (lichtgroen) en veen (bruin) lithoklassen zoals het 'gemiddelde' Nederland 3D model laat zien, toegevoegd. In 5.9C is dit nog eens in 3D perspectief (zicht vanuit zuidoosten) weergegeven. Hieruit valt af te leiden dat in het westen zowel de ondiepe Kreftenheije Zutphen klei als de dieper gelegen Twello klei in het Nederland 3D model tot uiting komen. Ook de Twello Klei van REGIS in het centrale deel wordt gerepresenteerd. De figuren 5.9B en 5.9C doen veronderstellen dat ook buiten de REGIS verbreidingsgrenzen meer, met name zandige, klei aanwezig is. Tenslotte lijkt ook ten westen van Lichtenvoorde de ondiepgelegen Formatie van Kreftenheije kleiiger te zijn ontwikkeld dan de REGIS kartering doet vermoeden.



Figuur 5.9 A-G: vergelijking tussen weerstandsbiedende lagen in REGIS II.0 en Nederland3D binnen de Formatie van Kreftenheije (incl. Holocene); D-F: 20, 40, 60 respectievelijk 80% kans op zandige klei; voor verdere verklaring zie tekst.



Figuur 5.10 Zij aanzicht van Nederland3D: > 60% kans op zandige klei (vgl. fig 5.9F).

Net als bij de Formatie van Boxtel nuanceren de kaartjes 5.9D-5.9G met de kans op zandige klei (de meest voorkomende slechtdoorlatende lithologie) het zandige klei kaartbeeld aanzienlijk. Ook hier worden, naarmate de onzekerheid op zandige klei afneemt (grotere kans) gebieden waarin de zandige klei voorkomt steeds kleiner. Bij kansen boven de 60% resteren eigenlijk alleen aaneengesloten ondiepe zandige kleilagen in het uiterste westen van het stroomgebied (figuur 5.10). Mogelijk zijn dit Holocene afzettingen die buiten de Holocene karteergrens van DGM liggen. Elders in het stroomgebied is er alleen in separate voxels hier en daar een hoge kans op een slechtdoorlatende litho-klasse.

Ook voor de geclusterde klei en veengebieden in figuur 5.6B geldt dat, in de kaartbeelden met meer dan 60% kans op klei/veen gebieden met aaneengesloten veen/kleilagen niet meer tot uiting komen. Met andere woorden, de kans op aaneengesloten veen en kleilagen is ook in de Formatie van Kreftenheije relatief laag.

5.2.2 Conclusies

De conclusie is dat alleen in het ondiepe bereik (< 5 m - mv) in het westelijk deel van het stroomgebied er met een redelijke zekerheid vanuit gegaan kan worden dat er ten opzichte van de REGIS kartering extra hydraulische weerstand in de ondergrond zit in de vorm van met name aaneengesloten zandige kleilagen die een hydrologisch effect zullen hebben.

Naarmate de diepte toeneemt geeft het Nederland3D model relatief lage kansen op slecht doorlatende lithoklassen. Een eerste mogelijke verklaring hiervoor is het feit dat de datadichtheid met toenemende diepte afneemt, waardoor er minder 'conditionering' van het model kan plaatsvinden. Mogelijk is er echter op deze dieptes ook sprake van meer heterogeniteit dan de REGIS lagen doen vermoeden, waardoor er simpelweg geen sprake is van 'preferente' lithoklassen op deze dieptes in bepaalde gebieden. De regionale aaneengeslotenheid van kleiige lagen in REGIS II.0 is dan een 'simplificatie van de werkelijkheid'. In werkelijkheid zijn meer 'gaten'.

De grove resolutie (250 x250) en het gebrek aan geologische input bij het Nederland3D model kan ook debet zijn aan de relatief lage kansen, omdat de grove resolutie mogelijk aanwezige correlatie structuren op korte afstand kan vertroebelen en omdat door middel van bijvoorbeeld verbreidingsgrenzen er juist geologische sturing (=structuur) toegevoegd kan worden, waardoor de mate van 'random' vullen van het model wordt verminderd.

Bovenstaande onzekerheden zijn relevant voor een adequate modellering van de geohydrologische processen en koppeling aan effectmodellen en worden waarschijnlijk relevanter wanneer meer wordt ingezoomd op een kleiner gebied, bijvoorbeeld bij een ecohydrologische systeemanalyse, en als modellering van grondwaterkwaliteit van belang is.

5.3 Hydrologie

Het grondwatermodel dat gebruikt wordt voor de klimaatscenario-berekeningen voor de Baakse beek is een uitsnede uit het model AMIGO (Actueel Model Instrument Gelderland Oost). Dit model wordt in meer detail beschreven in Bijlage I. Ten behoeve van de voorliggende studie is het model in twee opzichten aangepast en verbeterd. De eerste aanpassing betreft de vervanging van de onverzadigde zonemodule: waar voorheen het model CAPSIM (Wesseling, 1991) hiervoor werd gebruikt, wordt nu gebruik gemaakt van MetaSWAP (Van Walsum, 2010, Van Walum & Veldhuizen, 2011). Deze vervanging wordt in meer detail beschreven in paragraaf 5.3.1.

Mede ingegeven door deze ingrijpende modelwijziging is bovendien besloten AMIGO opnieuw stationair te kalibreren. De herkalibratie van het model wordt beschreven in paragraaf 5.3.2. Met het geherkalibreerde model zijn de klimaatscenario's doorgerekend voor het stroomgebied van de Baakse beek. De opzet en de resultaten van deze berekeningen worden beschreven in paragraaf 4.3.

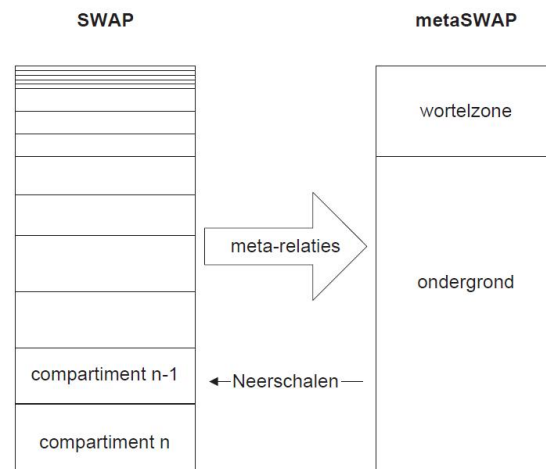
5.3.1 Vervanging CAPSIM door MetaSWAP

Inleiding

Het oorspronkelijke AMIGO gebruikt CAPSIM als onverzadigde zone model. CAPSIM is een *quasi-stationaire* benadering van de onverzadigde zone. Per tijdstap (normaal gesproken op dagbasis) bepaalt CAPSIM het evenwichtsvochtgehalte als functie van grondwaterstand, gewas- en bodemtype via een aantal tabellen, die voor de 21 bodemtypen uit de Staring-reeks door Alterra zijn ingevuld op basis van CAPSEV-berekeningen (Wesseling, 1991). De module CAPSIM is vervangen door MetaSWAP omdat MetaSWAP de onverzadigde zone beter beschrijft, met name voor diepere grondwaterstanden (Van der Linden et al., 2008). Zoals bekend bleek voor CAPSIM al een aanpassing nodig in verband met een te hoge bergingscoëfficiënt waardoor de GLG onvoldoende uitzakte. Daarnaast wordt MetaSWAP ook gebruikt binnen het NHI wat de vergelijkbaarheid van landelijke en regionale modelresultaten vergroot. Tot slot is het gewenst dat de verschillende regionale modellen een zelfde modelcode krijgen zodat nieuwe functionaliteit die bijvoorbeeld in het kader van Kennis voor Klimaat zal worden ontwikkeld, voor meerdere regio's beschikbaar kan komen. De nieuwe functionaliteit betreft koppelingen met nieuwe ecologische effectmodellen, modellering van kwel in de wortelzone en overstromingen.

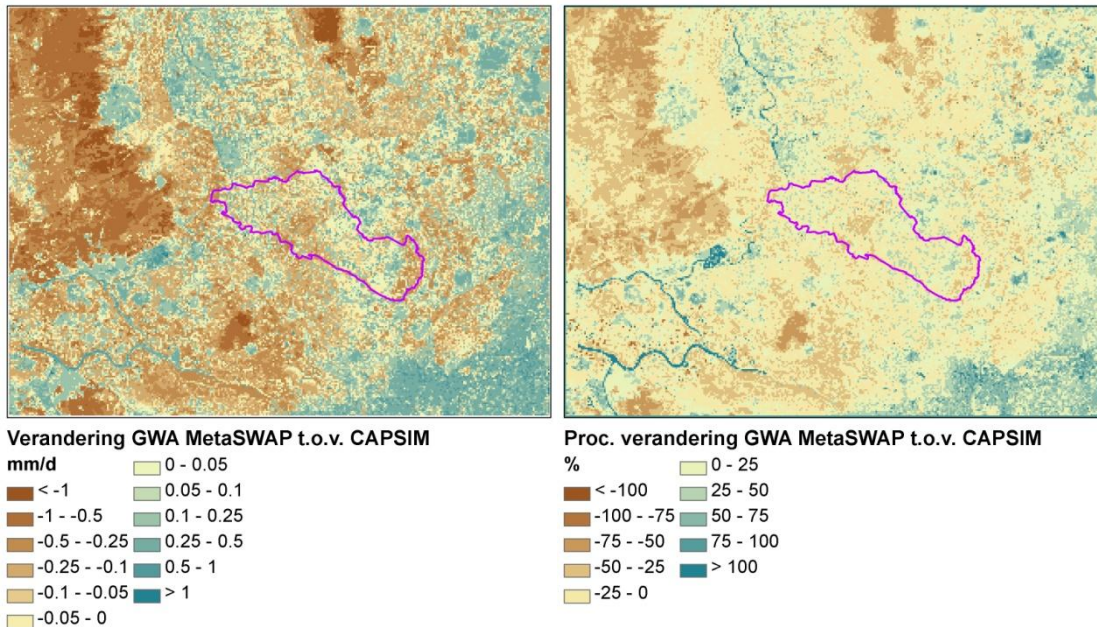
MetaSWAP beschrijft de *niet-stationaire* stroming van water in de onverzadigde zone en is gebaseerd op rekenexperimenten met een stationaire versie van SWAP. Deze metarelaties zijn afgeleid voor 2.881.788 stationaire SWAP berekeningen die verkregen zijn door combinaties te maken van: bodemprofielen, diktes van wortelzones, grondwaterstanden en fluxen. Resultaten van deze SWAP berekeningen zijn teruggeschaald (zie Figuur 5.11) en geconverteerd naar een database, die dus bekend staat als de module MetaSWAP.

MetaSWAP gaat alleen uit van een wortelzone en ondergrond (2 lagen). De diepte die wordt gehanteerd in AMIGO is afhankelijk van bodemfysische eenheid en landgebruik. De diepte van de wortelzone is niet seizoensafhankelijk.



Figuur 5.11 Relatie tussen SWAP en MetaSWAP. MetaSWAP berekent het vochtgehalte voor beide lagen met de bijbehorende flux. Deze resultaten kunnen worden neergeschaald naar een stationair profiel met vochtgehalte en drukhoogten voor alle SWAP bodemlagen. Voor details zie Van Walsum et al. (2010).

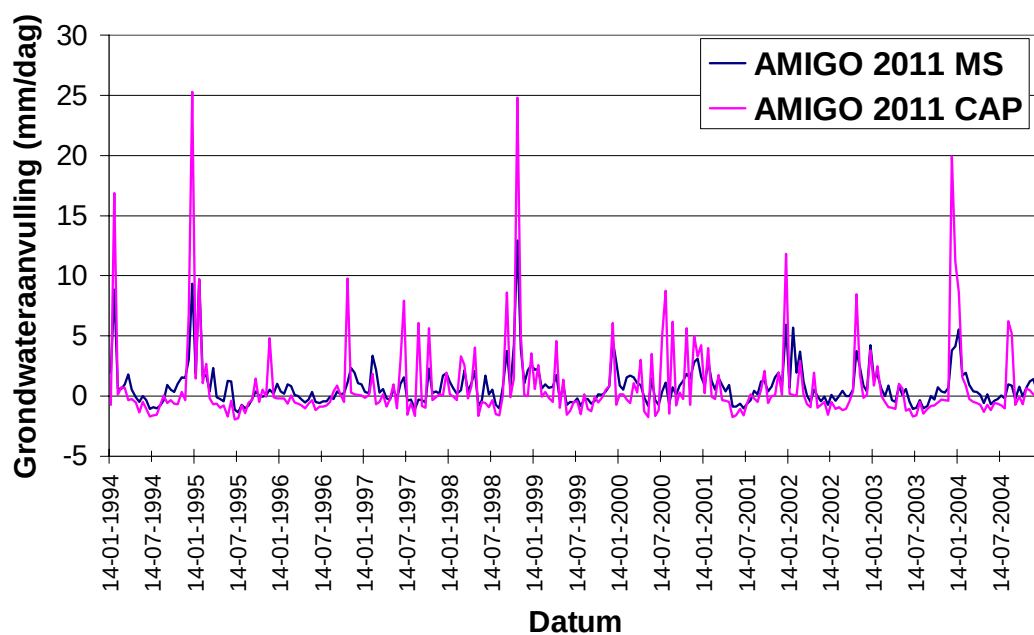
Om het effect van de vervanging van CAPSIM door MetaSWAP te onderzoeken is AMIGO met beide onverzadigde zone modules langjarig (1994-2004) doorgerekend en zijn de verschillen in modelresultaten bekeken. Uit nadere analyse van de met CAPSIM en MetaSWAP berekende grondwateraanvulling blijkt dat in het stroomgebied modelgebied de langjarig- en gebiedsgemiddelde grondwateraanvulling niet veel tussen de twee modellen verschilt. Dat geldt echter niet voor de ruimtelijke verdeling van de grondwateraanvulling. Figuur 5.12 geeft de ruimtelijke variatie van de verandering in langjarig gemiddelde grondwateraanvulling (absoluut en procentueel). De figuur geeft aan dat de vervanging van CAPSIM door MetaSWAP in bepaalde gebieden geresulteerd heeft in vrij grote veranderingen in langjarig gemiddelde grondwateraanvulling. Vooral de gebieden met een diepere onverzadigde zone springen eruit. Voor deze gebieden wordt met MetaSWAP in het algemeen een lagere grondwateraanvulling berekend. Een verklaring hiervoor is dat bij diepe grondwaterstanden er in CAPSIM geen capillaire opstijging optreedt. Zeker bij wat armere gronden zal de wortelzone in de zomer snel uitgeput raken, met verdampingsreductie als gevolg. MetaSWAP is onder dezelfde omstandigheden in staat om een deel van het percolatiewater uit de onverzadigde zone terug te halen, waardoor de verdamping minder zal worden gereduceerd, met als gevolg dat de grondwateraanvulling lager uitvalt. Overigens kunnen daarnaast ook kleine verschillen in de gebruikte gewasparameters tussen CAPSIM de gebruikte MetaSWAP-versie hier een rol spelen.



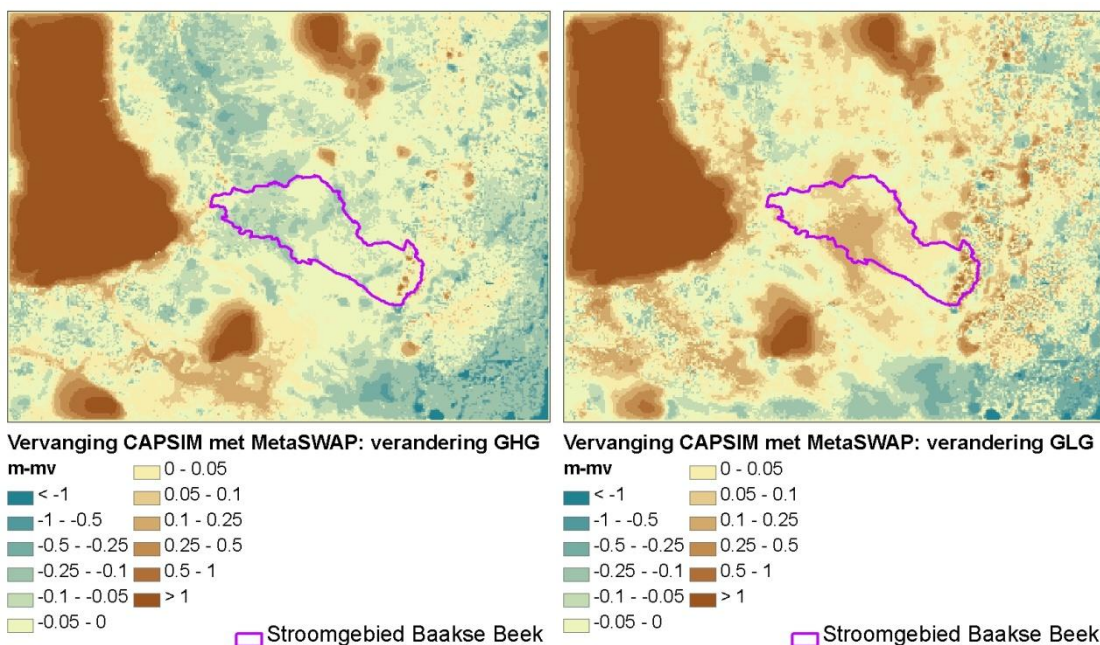
Figuur 5.12 Verandering van de langjarig gemiddelde (1994-2004) grondwateraanvulling (a) en procentuele verandering (b) bij vervanging van CAPSIM door MetaSWAP in AMIGO.

De vervanging van CAPSIM door MetaSWAP heeft tevens een groot effect op de dynamiek van de grondwateraanvulling. Figuur 5.13 geeft een vergelijking tussen de met MetaSWAP en met CAPSIM berekende gebiedsgemiddelde grondwateraanvulling. Te zien is dat de met CAPSIM berekende grondwateraanvulling op korte tijdsschalen sterker fluctueert dan de met MetaSWAP berekende grondwateraanvulling. De verklaring hiervoor is dat CAPSIM een “bakjesmodel” is, dat wil zeggen dat het feitelijk alleen een waterbalans bijhoudt van de wortelzone, terwijl MetaSWAP de waterbeweging en waterbalans in de gehele onverzadigde zone beschrijft. Bij CAPSIM is het zo dat water percoleert vanuit de wortelzone instantaan aankomt bij het grondwater. In MetaSWAP komt dit water in de onverzadigde zone onder de wortelzone en kan via die zone eventueel zijn weg vinden naar het grondwater.

Op de grotere tijdsschaal (die van de seizoenen) laat MetaSWAP juist meer dynamiek zien in de grondwateraanvulling, wat resulteert in een grotere dynamiek in de grondwaterstanden. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 5.14. Overwegend wordt met MetaSWAP voor het Baakse Beek gebied een hogere GHG berekend (natter), en een lagere GLG (droger). Dit wordt deels veroorzaakt door een hogere verdamping, resulterend in een lagere GLG en deels door een gemiddeld iets lagere bergingscoëfficiënt onder GHG omstandigheden. Van het in 2008 opgeleverde AMIGO-model is bekend dat de GLG te ondiep (te nat) waren en de dynamiek dus werd onderschat. De nieuwe modelresultaten betekenen in dit opzicht daarom een verbetering.



Figuur 5.13 Vergelijking van het verloop in de tijd van de over het gehele gebied gemiddelde grondwateraanvulling tussen de laatste modelversie met CAPSIM en de laatste modelversie met MetaSWAP. AMIGO 2011 = AMIGO v2.



Figuur 5.14 Verandering van de GHG (links) en GLG (rechts) bij vervanging van CAPSIM door MetaSWAP in AMIGO v2.. Bruin: diepere grondwaterstanden (droger). Blauw: ondiepere grondwaterstanden (natter).

5.3.2 Herkalibratie

Vaststelling van de noodzaak tot stationaire en instationaire herkalibratie

De vervanging van CAPSIM door MetaSWAP is de meest ingrijpende modelaanpassing sinds de oplevering van AMIGO in 2008, omdat modelresultaten erg gevoelig zijn voor de sterk sturende grondwateraanvulling, en het bovendien een gebiedsdekkende aanpassing betreft. Het is echter zeker niet de enige verbeterslag die is uitgevoerd sinds de oplevering. Er zijn tientallen kleine en grotere, sterk lokale maar ook meer regionale aanpassingen uitgevoerd. Te denken valt aan verbeteringen aan het maaiveld en peilen, toevoegen van watergangen en drainage, inbrengen van lokale weerstandslagen enzovoorts.

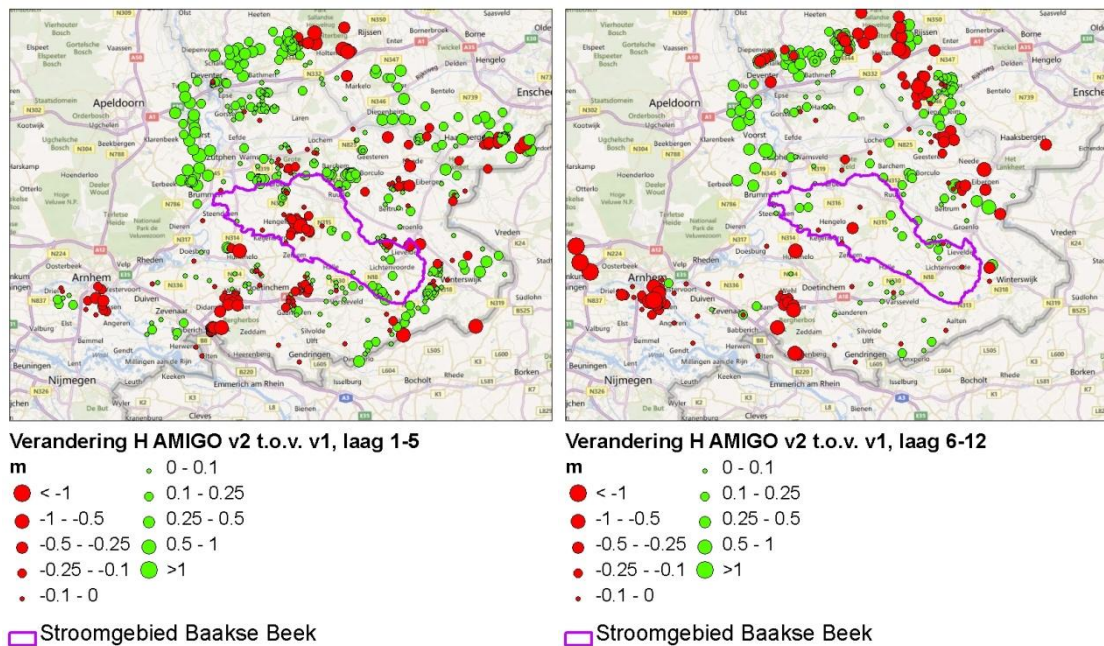
De modelaanpassingen met het grootste effect op de regionale grondwatermodellering zijn (afgezien dus van MetaSWAP) waarschijnlijk het doortrekken van de anisotropie en het invoeren van het scheidende deel van het Oosterhout Complex geweest, welke grote veranderingen tot gevolg hebben gehad in de gemodelleerde stijghoogten in de gestuwde delen van het model.

Vanwege alle modelaanpassingen sinds de oplevering van het gekalibreerde AMIGO in 2008 model (vanaf nu AMIGO v1 genaamd), is meer in detail nagegaan of een herkalibratie van het model opportuun zou zijn. Om het nut van een *stationaire*⁴ herkalibratie in te schatten, is o.a. bekeken hoe het “nieuwe” model (inclusief alle aanpassingen sinds 2008 en met MetaSWAP, vanaf nu AMIGO v2 genaamd) stationair presteert ten opzichte van AMIGO v1, ter plaatse van de stijghoogtemetingen uit de ijkset die gebruikt is in de stationaire kalibratie AMIGO v1. Figuur 5.15 laat bollenkaarten zien van de verandering in gemodelleerde stijghoogte ter plaatse van de 1071 meetlocaties uit de kalibratieset. Figuur 5.16 laat de “modelverbetering” op deze locaties (dus de verandering in de absolute afwijking tussen gemeten en gemodelleerde waarden, ofwel het absolute residu). Uit deze bollenkaarten blijkt dat het model als geheel gebaat kan zijn bij een herkalibratie. Er zijn namelijk duidelijk grotere zones (clusters van meetpunten) aan te wijzen waar het model verbeterd of verslechterd is. Voorbeelden hiervan zijn het gebied ten noordwesten van het Baakse Beekgebied (IJsselvallei, langs de Veluwerand) (verslechtering van het model) en het gebied ten noordoosten van het Baakse Beekgebied, tussen Ruurlo en Haaksbergen (verbetering van het model). Dit doet vermoeden dat de te gebruiken kalibratiemethode (i.e. de representermethode; Valstar, 2001) in staat kan zijn bepaalde probleemgebieden te verbeteren zonder dat dit al te zeer ten koste gaat van de modellering in andere gebieden.

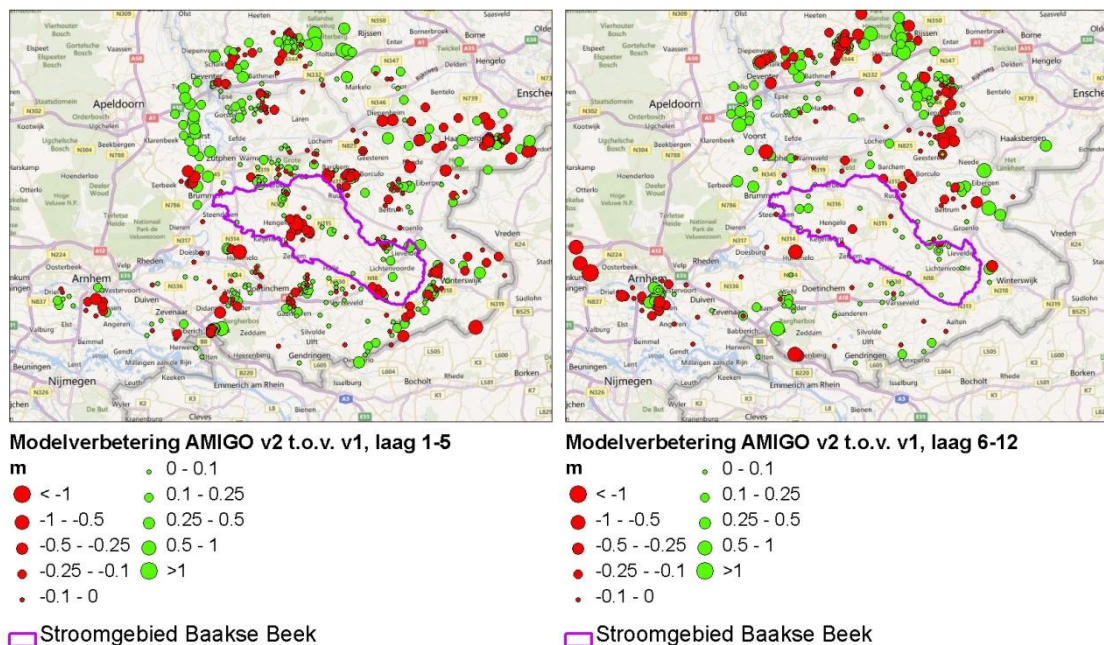
Een *instationaire*⁵ herkalibratie werd op dit moment niet opportuun geacht, omdat het vervangen van CAPSIM door MetaSWAP al in een duidelijke gemiddelde verbetering van de dynamiek heeft geresulteerd. Omdat behalve de vervanging van MetaSWAP door CAPSIM er geen ingrijpende veranderingen hebben plaatsgevonden aan het conceptuele model, kan niet verwacht worden dat de ijkingsprocedure bij een herkalibratie hele andere oplossingen zal vinden die resulteren in een veel betere fit met de metingen. De verwachting is daarom dat een herkalibratie niet veel meer dan een fine-tuning van de modellering zal opleveren en niet verder zal resulteren in een nog sterk verbeterde simulatie van de dynamiek.

⁴ Bij een stationaire herkalibratie worden doorgaans de KD- en C-waarden geoptimaliseerd. Deltares gebruikt daarvoor meestal de Representermethode (Valstar, 2001).

⁵ Bij een instationaire kalibratie wordt de dynamiek van het model meer in lijn gebracht met de meetinformatie. In een stand-alone MODFLOW-model worden meestal de intreeweestanden van het afwateringssysteem en de bergingscoëfficiënt geoptimaliseerd. Deltares gebruikt hiervoor meestal het kalibratiepakket PEST (Doherty, 2004). Een MODFLOW-MetaSWAP-model biedt echter meerdere aanknopingspunten, gezien de gevoeligheid van de dynamiek voor de grondwateraanvulling (berekend door MetaSWAP).



Figuur 5.15 Verandering van de gemodelleerde stationaire stijghoogten ter plaatse van de metingen uit de kalibratieset, in AMIGO v2 t.o.v. AMIGO v1.



Figuur 5.16 Verandering ijkresultaat (als verandering van het absolute residu) in AMIGO v2 t.o.v. AMIGO v1. Groene bollen = het model is verbeterd, rode bollen = het model is verslechterd.

Bij de bovenstaande argumentatie moet bedacht worden dat de mogelijkheid om ruimtelijk te differentiëren in de te kalibreren parameters in het geval van instationaire ijking zeer beperkt is. Er zijn namelijk geen kalibratietechnieken beschikbaar waarmee dat op een voldoende efficiënte manier kan. Instationaire kalibratie vereist het veelvuldig doorrekenen van het instationaire model over een voldoende lange periode. Hoe meer parameters er gekalibreerd

worden, hoe vaker dit moet gebeuren. De gekalibreerde parameters worden daarom meestal ruimtelijk constant gehouden. Dat houdt in dat, in tegenstelling tot bij de stationaire kalibratie, het niet mogelijk is om de ijkmethode lokale verbetermogelijkheden in het model te laten zoeken, zonder dat dit ten koste gaat van de modellering elders. De gemiddeld betere dynamiek die MetaSWAP geeft, valt daarom niet lokaal nog veel verder te verbeteren door parameteraanpassingen.

Uiteraard zou kalibratie van MetaSWAP zelf wellicht wel een verbeterd ijkresultaat kunnen geven, doordat het positieve effect van MetaSWAP op de dynamiek versterkt wordt. Een verdere fine-tuning van de MetaSWAP-modellering kan dus resulteren in een verdere verbetering van de modellering van de dynamiek. De gevoeligheden van AMIGO voor de verschillende knoppen in MetaSWAP waaraan tijdens de kalibratie gedraaid zou kunnen worden zijn echter niet bekend. Gezien de benodigde inspanning om dit inzicht te verkrijgen, in combinatie met het tijdrovende karakter van instationaire kalibratie en het feit dat hiermee hooguit een fine-tuning van het positieve effect van MetaSWAP op de dynamiek bewerkstelligd zou worden, is besloten dat een instationaire herkalibratie van AMIGO op dit moment niet opportuun is.

Methodie

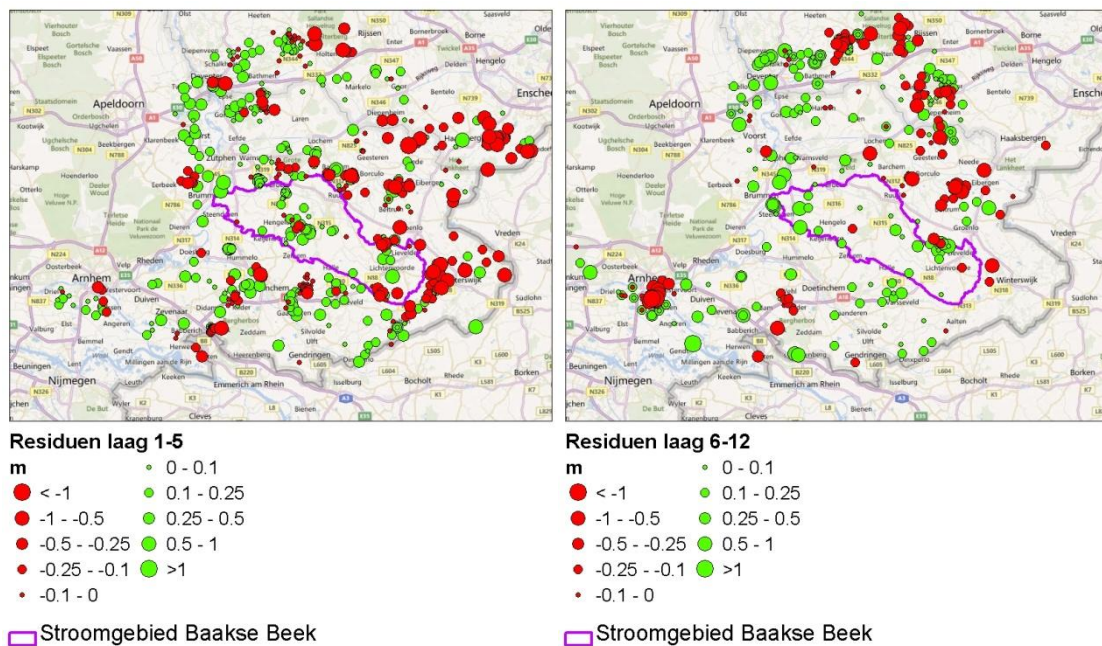
Zoals hierboven uiteengezet is ervoor gekozen AMIGO v2 alleen stationair te herkalibreren. Voor de stationaire herkalibratie van AMIGO v2 is dezelfde methodiek gebruikt als bij de kalibratie van de opgeleverde versie van AMIGO v1. Daarmee wordt bedoeld dat exact dezelfde ijkset is gebruikt (bestaande uit 1071 gemiddelde stijghoogtes) en dezelfde kalibratietechniek (de representermethode (Valstar, 2001) met dezelfde instellingen. Voor details van de methodiek wordt daarom verwezen naar het desbetreffende rapport (Van der Linden et al., 2008).

In tegenstelling tot wat wellicht verwacht zou kunnen worden zijn als a priori parameterschattingen niet de C- en KD-velden van AMIGO 2011 MS gebruikt. Voor een eerlijke kalibratie (dat wil zeggen dat een eerlijke afweging gemaakt wordt tussen vasthouden aan de a priori parameterschattingen en het loslaten daarvan omwille van de reproductie van de stijghoogtemetingen) dienen de parameterschattingen “gereset” te worden naar de waarden die zijn gebruikt bij de laatste kalibratie. Dat zijn namelijk de werkelijke initiële parameterschattingen. Als dat niet gebeurt, en er wordt opnieuw gekalibreerd met het kalibratieresultaat van de vorige keer als initiële parameterschattingen, krijgt de representermethode nogmaals de ruimte om van dit kalibratieresultaat af te wijken. Het nieuwe kalibratieresultaat kan dan verder dan gewenst af komen te liggen van wat eigenlijk de a priori informatie over de parameterwaarden was. Een moeilijkheid bij het resetten van de parameterwaarden naar de versies van voor de vorige ijking is echter dat na deze ijking informatie over de ondergrond is toegevoegd. Zo zijn er op diverse plaatsen weerstandbiedende lagen toegevoegd. Omdat dat uiteraard met een reden is gebeurd, willen we deze informatie behouden. Daarom is de volgende methodiek toegepast bij het resetten van de kD - en C-waarden van AMIGO v2 naar de a-priori schattingen van de vorige kalibratie: Indien sinds de laatste kalibratie de kD- en C-waarden met meer dan 25% zijn aangepast (er is dus meer dan 25% verschil in kD en/of C tussen AMIGO v1 en AMIGO v2), is aangenomen dat er los van de kalibratie informatie is toegevoegd aan het ondergrondmodel die behouden moet blijven. Op deze locaties zijn voor kD en/of C de waarden van AMIGO v2 behouden. Indien dit niet het geval is, zijn de parameterwaarden teruggezet naar hun waarden van direct voor de vorige kalibratie. Na controle van de resulterende a priori parametervelden bleek dat de doorgevoerde modelwijzigingen inderdaad zijn behouden.

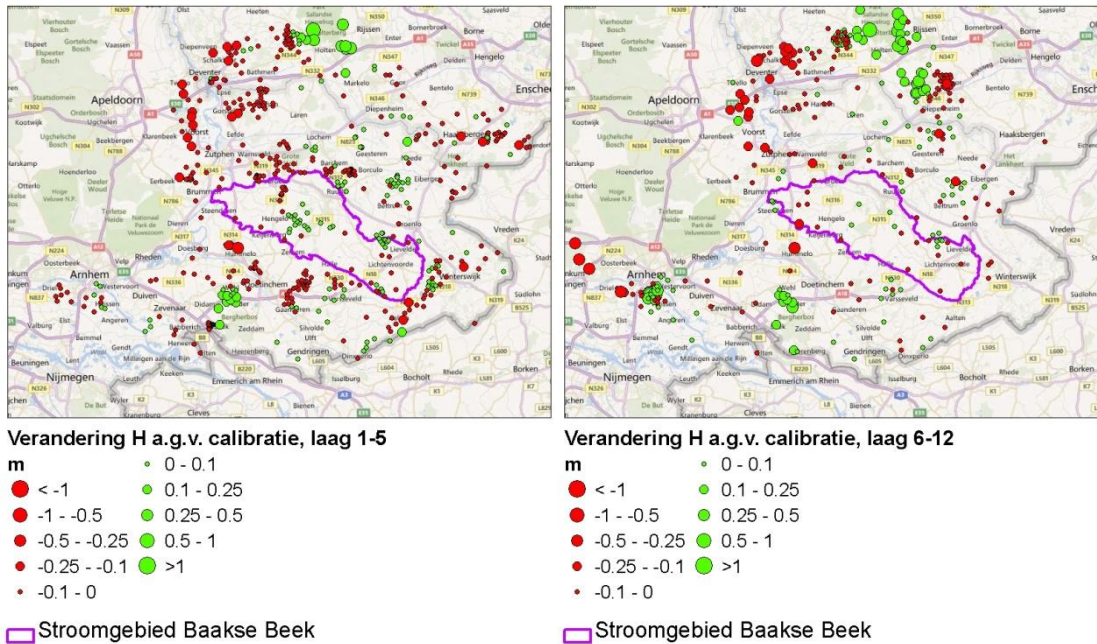
Net zoals bij de kalibratie van AMIGO v1 is de kalibratie op 250x250m resolutie uitgevoerd. Daartoe zijn de parametervelden dus opgeschaald van 25x25m (de resolutie waarop zij in de modeldatabase zijn opgenomen) naar 250x250m. Er zijn vijf iteraties uitgevoerd met de representermethode. Na de kalibratie zijn de resulterende parameteraanpassingenratio's berekend (verhouding tussen de gekalibreerde en de oude parameters op 250x250m resolutie. Deze ratio's zijn vervolgens neergeschaald naar 25x25m en toegepast op (=vermenigvuldigd met) de oorspronkelijke 25x25m a priori parametervelden. Aldus zijn nieuwe, gekalibreerde parametervelden voor kD en C verkregen op 25x25m resolutie.

Resultaten

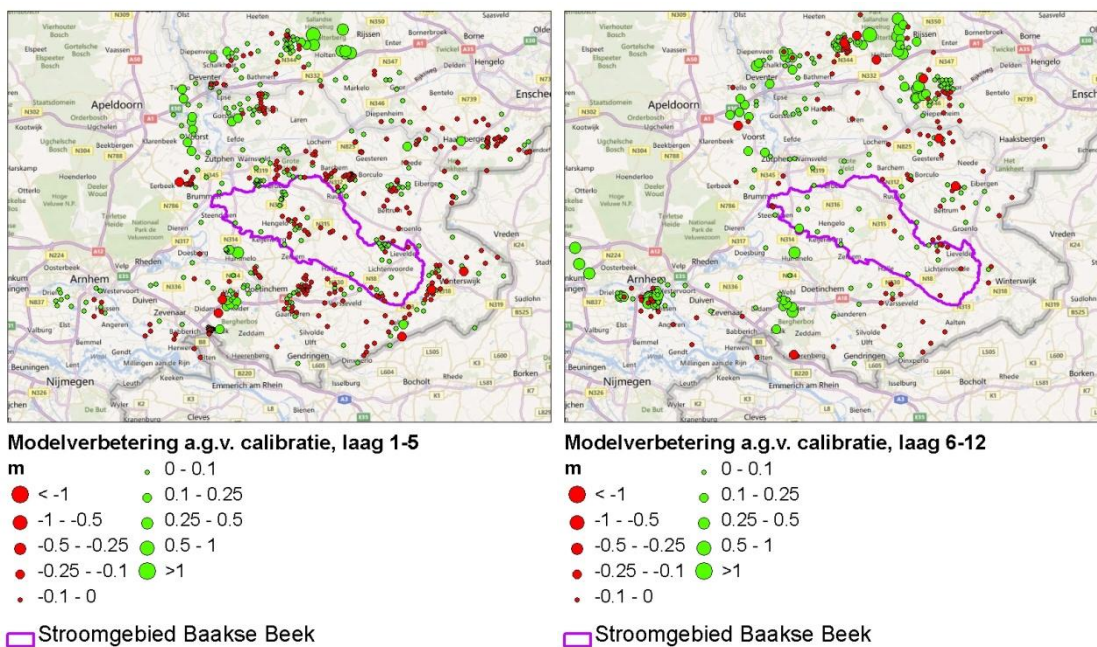
Figuren 5.17 – 5.19 geven een overzicht van het effect van de kalibratie: Figuur 5.17 laat zien wat de a posteriori residuen zijn (het eigenlijke ijkresultaat), Figuur 5.18 laat zien hoe de stijghoogtes (ter plaatse van de metingen) zijn veranderd, en 5.19 geeft aan waar en in hoeverre deze veranderingen hebben geresulteerd in een modelverbetering (d.w.z. een verkleining van de absolute afwijking tussen meting en modellering). Tabel 5.25 vergelijkt het ijkresultaat met dat van AMIGO v1 en met de modelperformance van het ongekalibreerde AMIGO v2. De tabel geeft aan dat, terwijl AMIGO v2 een behoorlijke verbetering is ten opzichte van AMIGO v1, de herkalibratie de overeenstemming met de metingen nog significant verder verbeterd heeft. Bijlage V vergelijkt de aangepaste parametervelden van kD en C met de ongekalibreerde parametervelden van AMIGO v2.



Figuur 5.17 Residuen na kalibratie van AMIGO v2. Links: modellen 1-5. Rechts: modellen 6-12.



Figuur 5.18 Veranderingen van de gemodelleerde stijghoogten (H) ter plaatse van de metingen, als gevolg van de kalibratie. Links: modellen 1-5. Rechts: modellen 6-12.



Figuur 5.19 Verbeteringen van de gemodelleerde stijghoogten ter plaatse van de metingen. Groen = verbetering. Rood = verslechtering. Links: modellen 1-5. Rechts: modellen 6-12.

Tabel 5.25 Statistieken van het kalibratieresultaat, met een vergelijking in performance van het oorspronkelijke AMIGO model uit 2008 en het ongekalibreerde AMIGO v2.

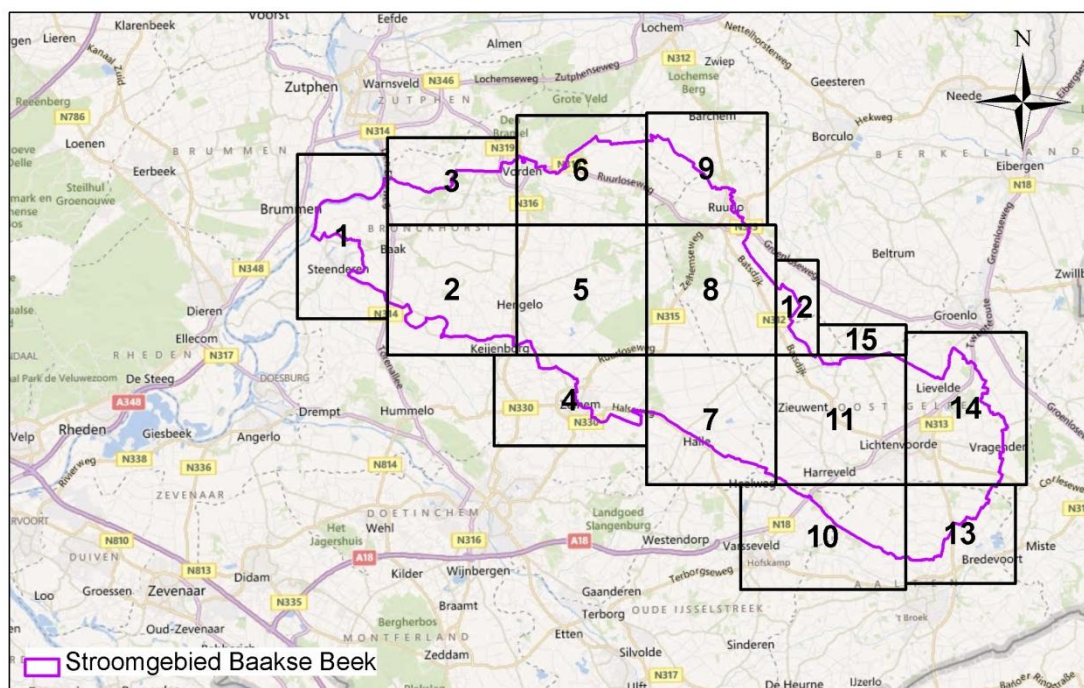
	AMIGO v1 (naar van der Linden, 2008)	AMIGO v2 MetaSWAP	AMIGO v2 MetaSWAP Gekalibreerd
25 % heeft een residu kleiner dan	9.1 cm	7.4 cm	6.5 cm
50 % heeft een residu kleiner dan	18.8 cm	15.5 cm	13.2 cm
75 % heeft een residu kleiner dan	35.6 cm	30 cm	24.9 cm
Gemiddelde absolute residu	26.3 cm	24.0 cm	20.2 cm
Gemiddelde reële residu	11.5 cm	0.7 cm	1.2 cm
Maximale overschatting stijghoogte	262 cm	185 cm	185 cm
Maximale onderschatting stijghoogte	329 cm	300 cm	138 cm

5.3.3 Uitkomst klimaatscenario's

Opzet van de berekeningen

Het gekalibreerde AMIGO-model is gebruikt om de effecten van klimaatverandering op de hydrologie van het stroomgebied van de Baakse Beek te berekenen, welke vervolgens doorwerken naar landbouw en natuur.

Het modelgebied wordt getoond in Figuur 5.20. Hierin is te zien dat het modelgebied is onderverdeeld in 15 deelmodellen. Dit is 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 15 deelmodellen kunnen wel parallel (tegelijktijd) gedraaid worden.



Figuur 5.20 De 15 deelmodellen overlappend met het stroomgebied Baakse beek.

De randvoorwaarden van het model zijn ontleend aan het AMIGO-model. Hiertoe is AMIGO op 250x250m resolutie doorgerekend en zijn de stijghoogten voor elke 14^e en 28^e van de maand, voor elke modelcel opgeslagen. Bij de deelmodelleringen worden deze stijghoogten ingelezen, teruggeschaald naar 25x25m resolutie en opgelegd aan de randen van de deelmodellen. Op elke willekeurige dag van de maand zijn de randvoorwaarden een lineaire combinatie van de opgeslagen stijghoogten van de 14^e en 28^e dag van de vorige, dezelfde of volgende maand (afhankelijk van welke dag het meest nabij is).

Omdat het modelgebied is onderverdeeld in zoveel kleine deelmodellen, hebben de aan deze deelmodellen opgelegde randvoorwaarden een grote invloed op het interessegebied. Er is op drie manieren ervoor gezorgd dat deze invloed niet verstorend werkt op de modelresultaten:

1. Rondom elk deelmodel is een bufferzone van twee kilometer aangehouden;
2. Voor elk klimaatscenario is het AMIGO model opnieuw doorgerekend om de randvoorwaarden te berekenen. Dit bleek cruciaal omdat anders de bufferzones veel groter genomen hadden moeten worden, waardoor de rekentijden te sterk zouden oplopen.
3. Het gebruik van de bufferzones resulteert in overlap tussen de deelmodellen. Van deze overlap wordt gebruik gemaakt bij het samenvoegen van de modelresultaten van de deelmodellen. Bij dit samenvoegen wordt het uiteindelijke modelresultaat in de overlappende bufferzones berekend uit een lineaire combinatie, waarbij de bijdrage van een bufferzone lineair afhangt van en afneemt met de afstand tot het "interessegebied" van het deelmodel waar deze bufferzone toe behoort. Op deze manier wordt er een soort "smoothing" uitgevoerd van de modelresultaten in de bufferzones, waardoor eventuele randeffecten als gevolg van invloed van randvoorwaarden verder wordt teruggebracht.

Enkele opmerkingen over de modelinvoer

De klimaatscenario's zijn doorgerekend met de nieuwste versie van AMIGO ("AMIGO 2011 MS"), met de gekalibreerde KD (hydraulische doorlatendheid) en C (weerstand)-grids. AMIGO is wat betreft de instationaire modelinvoer geparametriseerd voor de periode 1994-2004. Voor de huidige studie is de periode 1981-2010 doorgerekend. Omdat het onhaalbaar was binnen deze studie AMIGO met de ontbrekende jaren uit te breiden, is ervoor gekozen de ontbrekende jaren te parametriseren met de getallen uit 1994-2004. Het betreft hier overigens alleen de parametrisatie van de IJssel en de debieten van de grondwaterwinningen. Voor de peilen van de overige waterlopen wordt in AMIGO alleen onderscheid gemaakt tussen zomer- en winterpeilen, welke niet variëren. Dezelfde constante waarden zijn aangenomen voor de ontbrekende jaren. Voor de meteorologische invoer zijn als vanzelfsprekend de 30-jarige reeksen gebruikt die zijn geconstrueerd door het KNMI. Tabel 5.26. geeft aan van welke jaren de IJsselparametrisatie en winningendebieten zijn overgenomen om de ontbrekende jaren 1981-1993 en 2005-2010 op te vullen.

Tabel 5.26 Perioden voor debieten (IJssel en winningen)

Simulatieperiode	Gebruikte AMIGO-invoer (m.b.t. IJssel en winningen)
1981 – 1991	1994 - 2004
1992 – 1993	1994 - 1995
1994 – 2004	1994 - 2004
2005 – 2010	1999 - 2004

Voor de neerslaginvoer is gebruik gemaakt van de door het KNMI aangeleverde neerslaggrids, welke zijn geconstrueerd aan de hand van de meetgegevens van KNMI-stations Deelen en Twenthe. De referentieverdamping wordt intern berekend volgens Penman-Monteith in MetaSWAP. De hiervoor benodigde gegevens zijn ontleend aan de klimaatreeksen die voor deze parameters door het KNMI zijn opgesteld.

Resultaten klimaatscenario's

Met AMIGO zijn zowel de “Huidige” klimaatreeks als de klimaatreeksen voor G, G+, W en W+ doorgerekend. In dit rapport worden voor elk scenario de volgende modelresultaten getoond en besproken:

- i. De gemiddelde jaarlijkse grondwateraanvulling (in mm);
- ii. De GLG, GHG en GVG (in m-mv);
- iii. De gemiddelde kwelflux (in mm). Als maat voor de kwelflux is de flux genomen van modellaag 3 naar 2. Er is voor gekozen om van deze flux uit te gaan en niet van de flux van modellaag 2 naar 1, om het aandeel (sterk) lokaal gedraineerd neerslagoverschot in deze flux te verkleinen;
- iv. De gewasverdampingsreductie (in mm). Deze is berekend als het verschil tussen de potentiële evapotranspiratie en de actuele evapotranspiratie. ($ET_{pot} - ET_{act}$).

De resultaten van de scenarioberekeningen worden getoond in Bijlage VII. Per uitvoervariabele wordt steeds de uitgangssituatie getoond, en de verandering in deze situatie als gevolg van de klimaatverandering volgende de vier scenario's. Hieronder worden de resultaten kort toegelicht.

Klimaatscenario G

Het G-scenario laat de minste veranderingen zien van de vier klimaatscenario's. G wordt gekenmerkt door een kleine temperatuurstijging ($0,9^{\circ}\text{C}$) in zowel zomer als winter, een lichte toename van de neerslag in zowel zomer als winter (resp. 3 en 4 %), en een lichte verhoging van de potentiële verdamping in de zomer ($3\%^6$) in 2050. Dit alles resulteert in een lichte toename van de gemiddelde jaarlijkse grondwateraanvulling. Zowel GHG, GVG en GLG laten een zeer lichte stijging zien (natter), maar de verschillen met de huidige situatie zijn in het overgrote deel van het modelgebied niet relevant (kleiner dan 5cm). De veranderingen zijn iets groter in de minder goed gedraineerde gebieden. Wateraanvoer en -afvoer via het oppervlaktewater hebben hier minder grip op de grondwaterstand. In natte tijden wordt de verhoging van de grondwaterstand daarom minder gedempt via drainage, en in droge tijd wordt de grondwaterstands daling minder tegengegaan door wateraanvoer via het stelsel van sloten en andere watergangen. De grotere invloed van de klimaatveranderingen in deze gebieden is in alle scenario's zichtbaar. De iets toegenomen grondwateraanvulling resulteert in een overwegend zeer lichte toename van de kwelfluxen.

Klimaatscenario W

De modelresultaten van het W-scenario vertonen grote overeenkomsten met het G-scenario, met dien verstande dat de verschillen met de huidige situatie uitgesprokener zijn in W dan in G: de grondwateraanvulling neemt wat sterker toe, als gevolg daarvan nemen ook de kwelfluxen iets sterker toe, en treedt er wat betreft de GHG en de GVG een sterkere vernatting op dan bij G. Wanneer we kijken naar de kenmerken van het W-scenario zijn deze overeenkomsten en verschillen met G eenvoudig te verklaren: wat betreft de temperatuur, neerslag en potentiële verdamping zijn de veranderingen ten opzichte van “Huidig” voor zowel zomer als winter gelijk van teken en ongeveer twee maal zo groot als in G. Het is dan logisch dat de effecten op de hydrologie eveneens gelijk van richting zijn, maar uitgesprokener. De verdampingsreductie in G laat een afname zien (nattere condities), maar het W scenario laat een wisselend beeld zien waarbij de verdampingsreductie veel minder

⁶ De veranderingen in potentiële verdamping zoals gepubliceerd in de KNMI'06 scenario's gelden voor potentiële verdamping berekend volgens Makkink. In de huidige studie wordt de potentiële verdamping echter berekend met behulp van Penman-Monteith. De procentuele veranderingen in potentiële verdamping volgens Penman-Monteith zijn iets anders dan volgens Makkink. Zo wordt in deze studie in het W+ scenario (2050) een toename van de potentiële verdamping volgens Penman-Monteith berekend van 19%, waar in de KNMI'06 scenario's een toename van 15% wordt genoemd. De verschillen tussen de in deze studie berekende veranderingen in potentiële verdamping en de getallen in de KNMI'06 scenario's zijn voorgelegd aan het KNMI, en de verschillen zijn verklaarbaar en plausibel bevonden.

afneemt en zelfs wat toeneemt. Waarschijnlijk veroorzaken de verhoogde temperaturen in de zomer voor een verhoogde potentiële verdamping.

Klimaatscenario G+

Waar het effect van de G en W-scenario's op het grondwatersysteem in zijn algemeenheid aangeduid kan worden als "vernating" (toenemende grondwateraanvulling en kwelfluxen, hogere grondwaterstanden en veelal afnemende verdampingsreductie), vormen G+ en W+ de "droge" tegenhangers van deze scenario's, gekenmerkt door verminderde grondwateraanvulling en kwelfluxen, verlaagde grondwaterstanden en toenemende gewasverdampingsreductie. De "droogte" in deze scenario's is met name het gevolg van de sterk gereduceerde neerslag in combinatie met de sterk toenemende potentiële verdamping in de zomer. In het G+ scenario bedragen deze veranderingen respectievelijk -10% en +8%. Hoewel hier een toename van de neerslag in de winter van 8% tegenover staat, is het netto effect op de gemiddelde jaarlijkse grondwateraanvulling een significantie, gebiedsbrede reductie. Direct gevolg hiervan is een gebiedsbrede afname van de kwelfluxen. De verhoogde potentiële verdamping en de verminderde neerslag in de zomer resulteren in een aanzienlijke verlaging van de GLG, welke in een groot deel van het gebied oploopt tot 10-15 cm. In het voorjaar en de winter herstellen de grondwaterstanden hier niet meer van; ook voor de GVG en de GHG wordt een gebiedsbrede verlaging berekend, al is de verlaging in het overgrote deel van het gebied niet significant (minder dan 5 cm). Alleen in de minder gedraineerde delen van het modelgebied bedraagt de daling meer dan 5 cm.

Over het algemeen wordt er een toename van de gewasverdampingsreductie berekend in het G+ scenario. Uitzonderingen worden gevonden in de kwelgebieden; hier blijft de verdampingsreductie nagenoeg gelijk (de berekende afname is marginaal). Het kwelwater blijft de wortelzone in deze gebieden dus van voldoende water voorzien. Het naaldbos bij Veldhoek vormt een opvallende uitzondering op de verder vrijwel gebiedsbreed afnemende jaarlijkse grondwateraanvulling in dit scenario. Dit is het gevolg van het feit dat in de huidige situatie het bos al bijna maximaal transpireert in het groeiseizoen, getuige ook de lage grondwateraanvulling in dit gebied en de zeer sterk toenemende gewasverdampingsreductie in G+ en W+. De veranderde klimatologische omstandigheden in het groeiseizoen zullen dus slechts een beperkt effect hebben op de grondwateraanvulling in deze periode. In de winter neemt de neerslaghoeveelheid toe, en netto resulteert dit in het bos dus in een toename van de gemiddelde jaarsom aan grondwateraanvulling.

Klimaatscenario W+

Waar W de sterkere variant is van G, is W+ dat van G+. De veranderingen in de klimatologische omstandigheden zijn in zowel zomer als winter weer gelijk van teken, en ongeveer twee keer zo groot: volgens het KNMI bedraagt de afname van de neerslag in de zomer 19%, de toename van de neerslag in de winter 14% waarbij ook sprake is van een hogere neerslagintensiteit. De toename van de potentiële verdamping in de zomer komt in het KNMI scenario uit op 15%. Dat laatste percentage is gebaseerd op een verdamping berekend volgens Makkink. De effecten op het grondwatersysteem zijn vergelijkbaar als G+, maar sterker: de jaargemiddelde grondwateraanvulling en kwelfluxen nemen in dit scenario nog sterker af, GHG, GVG en GLG zakken in het algemeen verder weg en de verdampingsreductie neemt nog meer toe. Opnieuw vormt het naaldbos bij Veldhoek de duidelijkste, en één van de weinige uitzonderingen op de afnemende grondwateraanvulling. De verklaring hiervoor is dezelfde als gegeven bij het G+-scenario.

Vergelijking AMIGO resultaten met andere studies

Diverse studies zijn de voorliggende studie voorgegaan, waarin ook de hydrologische effecten van klimaatscenario's zijn doorgerekend. Het is goed te bekijken hoe de resultaten van de voorliggende studie zich verhouden tot deze eerdere studies. In deze korte vergelijking leggen we de nadruk op het W+ scenario, omdat alleen het G en W+ scenario

ook met de effectmodellen WOFOST en SMART2SUMO zijn doorgerekend en het W+ wat betreft de te verwachten effecten de meest interessant is. Zoals hierboven uiteengezet wordt in de voorliggende studie geconstateerd dat in een W+ 2050 scenario sprake is van:

1. een afname van de jaargemiddelde grondwateraanvulling, met uitzondering van (naald)bosgebieden;
2. een daling in de GHG ten opzichte van de referentiesituatie ondanks een 14% toename in de winterneerslag;
3. een afname in kwel (en ook infiltratie) ten opzichte van de referentiesituatie.

Eerdere studies waarin ook de hydrologische effecten van het W+ scenario zijn doorgerekend geven wisselende en soms zelfs tegengestelde beelden. Dit gaat vooral op voor de winterperiode, en ook voor de kwel en infiltratie. Voorbeelden van deze eerdere studies zijn:

- *MIPWA studie (Stuurman et al., 2008)*: Hierbij is een regionaal model en een 8 jarige klimaatreeks gebruikt voor het bepalen van het effect van het W+ scenario. In deze studie stijgt de GHG met enkele cm (behalve in stuwwallen, daar stijging in decimeters) en daalt de GLG met 1 á 2 decimeter.
- *PAWN instrumentarium 2008 (van Beek et al., 2008)*: Landelijke berekening op basis van karakteristieke weerjaren (ook wel droogtejaren genoemd). Berekening voor stuwwallen is niet betrouwbaar. Er wordt bij een gemiddeld jaar een verhoging van de GHG voorspeld voor W+ 2050. Bij een extreem droog jaar is dat niet meer zo en laat de GHG veelal een daling zien. Er wordt een toename van de kwel/infiltratie berekend bij W+ in een gemiddeld jaar.

NHI binnen deelprogramma zoetwater (Klijn et al., 2011): deze studie geeft een wisselend beeld maar voor het Baakse beekgebied wordt veelal een daling van de GHG voor W+ berekend in een gemiddeld jaar. De daling van de GLG op pleistocene zandgronden ligt in de orde van 10-25 cm.

- *KNMI studie met STONE2.1 (Bakker et al., 2009)*: er wordt een daling van de zowel de GHG als de GLG berekend voor W+ op basis van 30 jarige reeks met STONE2.1 voor grote delen van de pleistocene zandgronden, waaronder het gebied van de Baakse beek.
- *Rijn Oost Klimaat en Droogte (Capel et al., 2011)*: de berekeningen zijn uitgevoerd met NHI 2.0. In de zandgebieden daalt de GHG. Als verklaring wordt gegeven dat de winterneerslag niet voldoende is om de zomerse daling in grondwaterstanden te compenseren. Hoewel de winterneerslag hoger is dan de referentie is de invloed op grondwaterstandstijging gering doordat drainage een groot deel afvoert. De grondwaterstandstijging wordt dus al het ware aan de bovenzijde afgetopt. In grote delen bedraagt de GLG-daling tussen de 10 en 25 cm. In de aangescherpte knelpuntanalyse is geconstateerd dat de kwel afneemt, maar niet dat er veel kwelgebieden omslaan naar infiltratie.
- *SIMGRO voor Gelderse vallei (Hermans et al., 2009)*: Berekening met 30 jarige reeks. Door een afname van het jaarlijkse neerslagoverschot in het W+-scenario dalen de grondwaterstanden onder de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe. Hierdoor neemt de grondwaterstroming naar de Vallei af en vermindert hier de kwel. In de zomer daalt de grondwaterstand in de Gelderse Vallei door een toename van het neerslagtekort en een vermindering van de kwelintensiteit. De gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) blijft nagenoeg gelijk aan de huidige situatie.
- *Klimaatstudie met lineaire tijdreeksmodellen (Van der Gaast et al., 2009)*: GHG voor de stuwwallen laat bij W+ forse dalingen zien. De Baakse beek laat een niet significante stijging in GHG en GVG zien en daling van de GLG (tussen de 5 en 20 cm). Reden voor de geringe stijging, ondanks groter winter neerslagoverschot wordt geweten aan het aftoppen van grondwaterstandsverhoging via de drainagemiddelen.

Het gaat binnen deze studie te ver om alle verschillen te verklaren, maar wij verwachten dat de verschillen veelal zijn terug te voeren op verschillend in methoden (concepten) en invoer (de wijze waarop de klimaatscenario's zijn vertaald naar hydrologische modelinvoer).

Op verzoek van Provincie en Waterschap is nader gekeken naar de aanpak en resultaten van Van der Gaast et al. 2009, en Van der Gaast et al. (in prep.). Beide studies hanteren een methode met "lineaire tijdreeksmodellen" waarbij specifieke aandacht is besteed aan de effecten in de Baakse beek. De verschillen tussen de resultaten van Van der Gaast et al. (2009; in prep.) en die van de voorliggende studie kunnen veroorzaakt worden door het feit dat beide studies zowel verschillende methodieken als verschillende invoerdata gebruiken:

1. In Van der Gaast et al., (2009; in prep) wordt gebruik gemaakt van lineaire tijdreeksmodellen. Deltares hanteert het instationaire semi-3-dimensionale geohydrologisch model AMIGO, wat in het kader van NMDC is verbeterd. Dit zijn wezenlijk verschillende methoden. Zo gaat de methode Van der Gaast voorbij aan het feit dat er ruimtelijke interacties zijn tussen aanpalende kwel- en infiltratiegebieden. Veranderingen met betrekking tot de onderrand van de tijdreeksmodellen als gevolg van klimaatveranderingen worden buiten beschouwing gelaten. Het AMIGO model houdt wel rekening met de ruimtelijke interacties en hoe die veranderen bij veranderend klimaat, waardoor de gevoeligheden van de hydrologie voor de klimaatveranderingen anders liggen. AMIGO is dan ook beter geschikt voor het doorrekenen van klimaatscenario's en maatregelen.
2. Van der Gaast et al. (2009; in prep.) berekenen ET_{ref} op basis van Makkink. Binnen het NMDC project is Penman-Monteith gebruikt. Wereldwijd wordt veelal de Penman-Monteith methode gebruikt welke meer fysisch gebaseerd is dan de Makkink methode. De consensus in de wetenschappelijke literatuur is dat Penman-Monteith een betere schatting van de referentie verdamping geeft dan Makkink. Nadeel is wel dan Penman-Monteith om meer data vraagt. Makkink gaat ervan uit dat alleen de straling bepalend is voor de referentie verdamping, terwijl Penman-Monteith ook een aerodynamisch component bevat. Deze component wordt belangrijker naar mate we voor kleinere gebieden en kortere tijdstappen willen gaan rekenen. Zo kan beter rekening worden gehouden met locatie specifieke omstandigheden. Hoewel niet expliciet meegenomen houdt Makkink ook rekening met deze aerodynamische component door de empirische geschatte constante van 0,65. De Makkink constante (en de daarbij behorende gewasfactoren) zijn empirisch bepaald onder het huidige klimaat. De klimaatscenario's geven echter aan dat de luchtvochtigheid, en advectie en alle terugkoppelingen van de grenslaag, gaan veranderen. De empirische parameters zullen dan ook niet geldig zijn voor de toekomst. Dit is dan ook de reden waarom de Penman-Monteith methode de voorkeur geniet boven Makkink voor regionale studies naar de effecten van klimaatverandering. (Droogers, 2009). Penman-Monteith geeft voor de huidige situatie een wat hogere ET_{ref} dan Makkink. Voor de toekomstige situatie (W+) wordt dat verschil nog groter (mede vanwege lagere relatieve luchtvochtigheid). Hierdoor berekenen we een hogere toename in de ET_{ref} (+19%) voor de zomer dan de +15% aangegeven door KNMI in hun samenvattende tabel over het W+ scenario. Dit zal op jaarbasis resulteren in een lagere grondwateraanvulling en daarmee verlaging in grondwaterstanden.
3. Van der Gaast et al. (2009) hebben landelijke klimaateffecten doorgerekend met de meteogegevens van één meteorostation, te weten De Bilt (550). Voor de Baakse beek wordt dan een lichte stijging in GHG berekend voor W+ ten opzichte van de referentie. In de NMDC studie zijn de neerslaggegevens gebruikt van weerstations Deelen (275) en Twente (290) welke ruimtelijk zijn vergrid over het Baakse beek stroomgebied. In Van der Gaast et al. (in prep) wordt wel gebruik gemaakt van meer regionale meteorostations (Doetinchem, Lichtevoorden) wat resulteert in een verlaging in GHG voor W+ ten opzichte van de referentieperiode (verschil < 5 cm). Daarmee komen de resultaten meer overeen met wat in de NMDC studie is berekend.

4. De periode waarover de referentie is berekend is niet gelijk met die van NMDC, en we zien significante verschillen in GLG en onderrandvoorwaarde (kwelflux).

Gezien de benadering gehanteerd in de voorliggende (gekalibreerd en verbeterd geohydrologisch model, koppeling met WOFOST waardoor beter rekening gehouden wordt met het CO₂ effect op transpiratie en gewasgroei, gebruik van regionale neerslagdata en Penman-Monteith methode voor bepaling van ET_{ref}) hebben we meer vertrouwen in onze eigen methode dan de aanpak van Van der Gaast et al. Daarnaast zijn we van mening dat de methode gevolgd binnen dit NMDC project betere perspectieven biedt voor het kwantificeren van maatregelen.

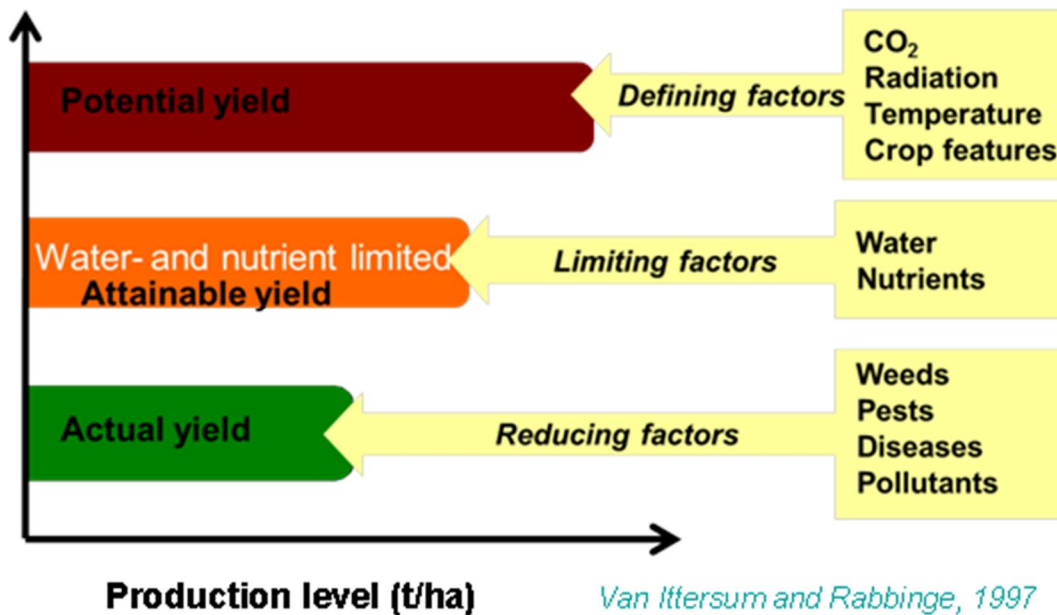
5.4 Landbouw

5.4.1 Gewasopbrengsten en limiterende factoren.

Landbouwgewassen produceren biomassa uit water, CO₂ en nutriënten onder invloed van zonlicht. In de bedrijfsvoering probeert men de omstandigheden voor deze productie te optimaliseren, zodat de planten steeds maximaal kunnen groeien. Als dit proces wordt geremd doordat de watervoorziening niet optimaal is, vertraagt de groei en is sprake van opbrengstdepressie. Deze depressie kan komen door te droge en te natte omstandigheden. Een te droge grond in het voorjaar geeft een vertraagde kieming van zaaizaad en een slechte aanslag van uitgeplante gewassen. Verder kunnen de wortels door te droge omstandigheden te weinig water voeren naar de andere delen van het gewas.

Te natte omstandigheden levert directe opbrengstverliezen doordat de wortels van gewassen in een te natte bodem niet meer werken of afsterven omdat er geen goede gasuitwisseling van zuurstof en CO₂ in de bodem meer plaats kan vinden. Ook kan dan stikstofgebrek optreden. Te natte omstandigheden levert ook indirecte schade als ook de draagkracht van de natte bodem onvoldoende is voor beweiding, het berijden en bewerking van het land met machines.

Effecten van ingrepen in de waterhuishouding en klimaat op landbouw worden meestal uitgedrukt in opbrengstdepressies. De basis om depressies te kunnen afleiden zijn de gewasopbrengsten (in kg geoogst product). Hierbij worden potentiële en actuele opbrengsten onderscheiden en soms ook de beschikbare hoeveelheid voedsel die hieruit geproduceerd wordt. In figuur 5.21 is schematisch het verschil weergegeven tussen potentiële, water en nutriënt gelimiteerde (haalbare) en actuele gewasopbrengsten.



Figuur 5.21 Onderscheid tussen potentiële, water en nutriënt gelimiteerde en actuele gewasopbrengsten

De potentiële opbrengsten zijn de opbrengsten die bij het gegeven klimaat (CO₂, straling, temperatuur) en de betreffende gewaskarakteristieken maximaal gerealiseerd kunnen worden (ideale condities water, nutriënten, geen ziekten, plagen).

De haalbare opbrengsten zijn lager doordat water en/of nutriënten niet optimaal beschikbaar zijn of omdat de waterkwaliteit niet goed is (te zout of andere stoffen die de groei beperken). De actuele opbrengsten zijn de opbrengsten die ook daadwerkelijk worden gerealiseerd. Deze zijn lager omdat schade op kan treden door ziekten, onkruid en andere biologische plagen. De potentiële opbrengsten kunnen met name worden verhoogd door verbetering van rassen (plantenveredeling) en het aanpassen van de zaaidatum. Het verschil tussen de potentiële en actuele opbrengst kan verkleind worden door gebruik van (kunst)mest, bestrijdingsmiddelen, gewasrotatie, beregening, mechanisatie en andere verbeteringen in technologie en gewasmanagement.

5.4.2 Rekenmethodes gewasopbrengsten en opbrengstderving

In Nederland zijn de volgende rekenmodellen ontwikkeld om landbouwopbrengsten en veranderingen (depressies) daarin te berekenen:

1. HELP-tabellen: 1^e versie 1986 (Werkgroep HELP-tabel, 1986), laatste actualisatie HELP-2006 (Bakel, 2007)
2. AGRICOM: 1^e versie: WI/Delft 1995, updates 2009-2010, laatste actualisatie 2011: (Mulder 2011)
3. TCGB-methode (Technische Commissie Grondwater Beheer), update 1990 (Bouwmans 1990).

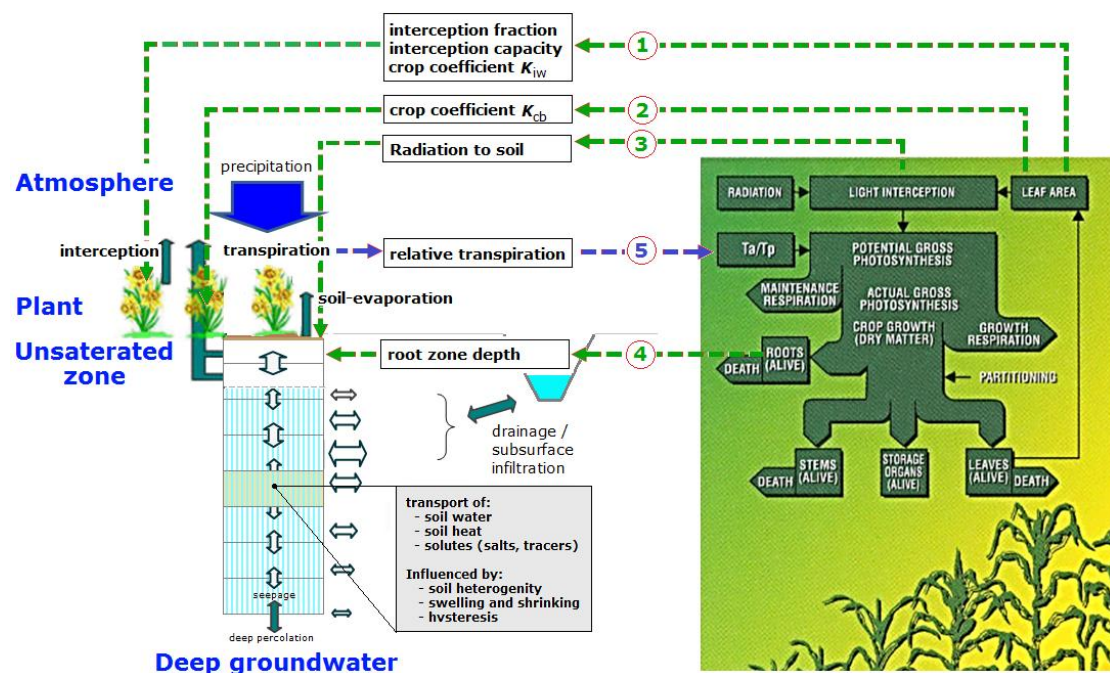
Deze methodes geven allen per bodemsoort een relatie tussen de grondwaterstand en het gewas. De HELP-tabellen en TCGB-methode geven een gemiddelde opbrengstderving over een periode van 30 jaar. Agricom kan naast de langjarig gemiddelden ook opbrengstderving voor een individueel jaar berekenen. De HELP- en TCGB-methode zijn in feite ongeschikt voor de huidige situatie omdat de relaties zijn gebaseerd op verouderde meteorologische condities (1951 – 1980). Alle 3 methodes zijn ook niet geschikt om effecten van klimaatverandering 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.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 4 is het hier toegepaste model WOFOST een mechanistisch model dat de gewasgroei berekend op basis van onderliggende gewas specifieke processen zoals fotosynthese en respiratie en hoe deze processen worden beïnvloed door de bodem, bodemvochtcondities, het weer en de bedrijfsvoering (bijvoorbeeld tijdstip van inzaaien, maairegiem). Voor de huidige situatie is als CO₂ concentratie 355 ppm gehanteerd en voor de klimaatscenario's 2050 is 710 ppm aangenomen (Wolf et al., 2010). De toepassing en koppeling met de hydrologische modellering wordt in het navolgende behandeld.

MetaSWAP-WOFOST

De WUR werkt aan een koppeling van het gewasgroeimodel WOFOST met de hydrologische modellen SWAP en MetaSWAP. Enerzijds kunnen met deze koppeling realistische gewasopbrengsten worden berekend die rekening houden met veranderend klimaat (CO₂, temperatuur, straling e.a.). Anderzijds wordt door deze koppeling beter rekening gehouden met de terugkoppeling tussen de gewasgroei en hiervan afhankelijke condities voor verdamping en capillaire nalevering. In de casestudie Baakse Beek is een koppeling gerealiseerd tussen MetaSWAP en WOFOST. Deze koppeling, die schematisch is weergegeven in figuur 5.26, is beschreven door van Walsum en Supit (2012, in prep).

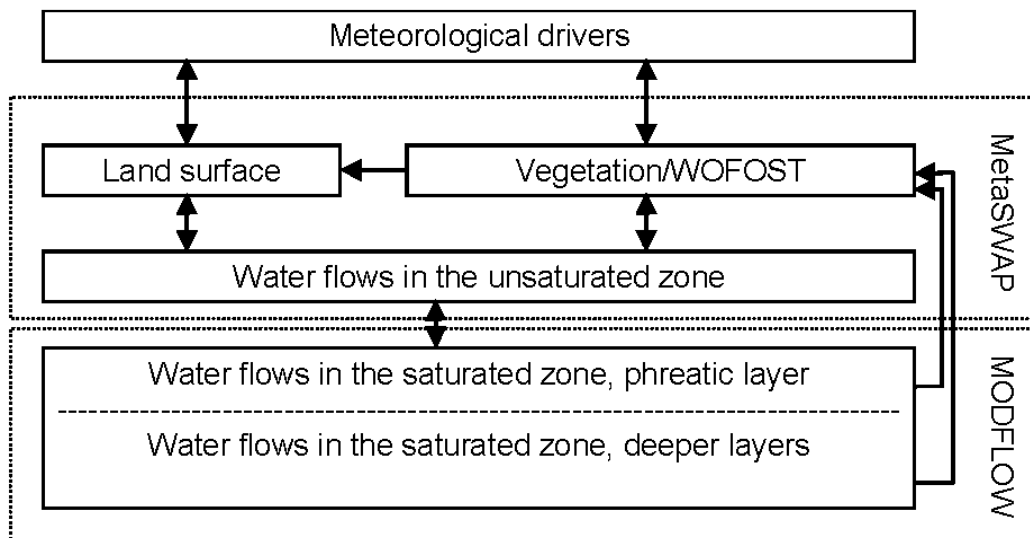


Figuur 5.22 Koppeling tussen WOFOST en MetaSWAP.

De essentie van deze koppeling is dat er een koppeling is tussen de gewasverdamping, capillaire nalevering en gewasgroei. De verdamping is opgesplitst in 3 aparte termen, namelijk bodemverdamping, interceptieverdamping en transpiratie, welke afhankelijk zijn gesteld van de Leaf Area Index (LAI) en licht interceptie die met het gewasgroeimodel wordt berekend. Deze feedbacks (nummer 1, 2 en 3 in figuur 5.22) hebben een significante invloed op de verdamping en de verhouding tussen de actuele en potentiële transpiratie, welke laatste weer van invloed is op de gewasgroei (nummer 5 in figuur 5.22). 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 5.22). Dit geeft een

betere beschrijving van de hoeveelheid vocht dat 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 modelmatige relatie tussen MetaSwap-WOFOST en het grondwatermodel (Modflow) is schematisch weergegeven in figuur 5.23. Op deze wijze is de modellering van de gewasgroei volledig geïntegreerd in de modellering van het grondwater en de vochthuishouding in de onverzadigde zone.

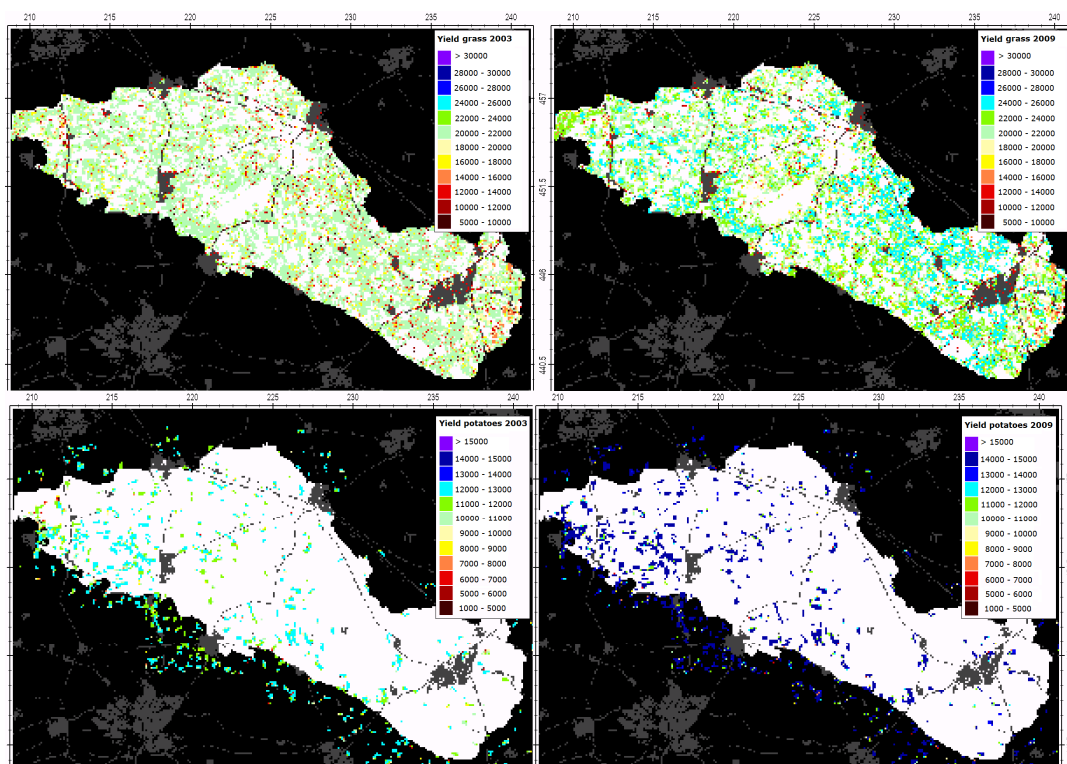


Figuur 5.23 Overzicht hydrologisch modelinstrumentarium AMIGO (MetaSWAP-MODFLOW) en het hieraan gekoppelde gewasgroeimodel WOFOST.

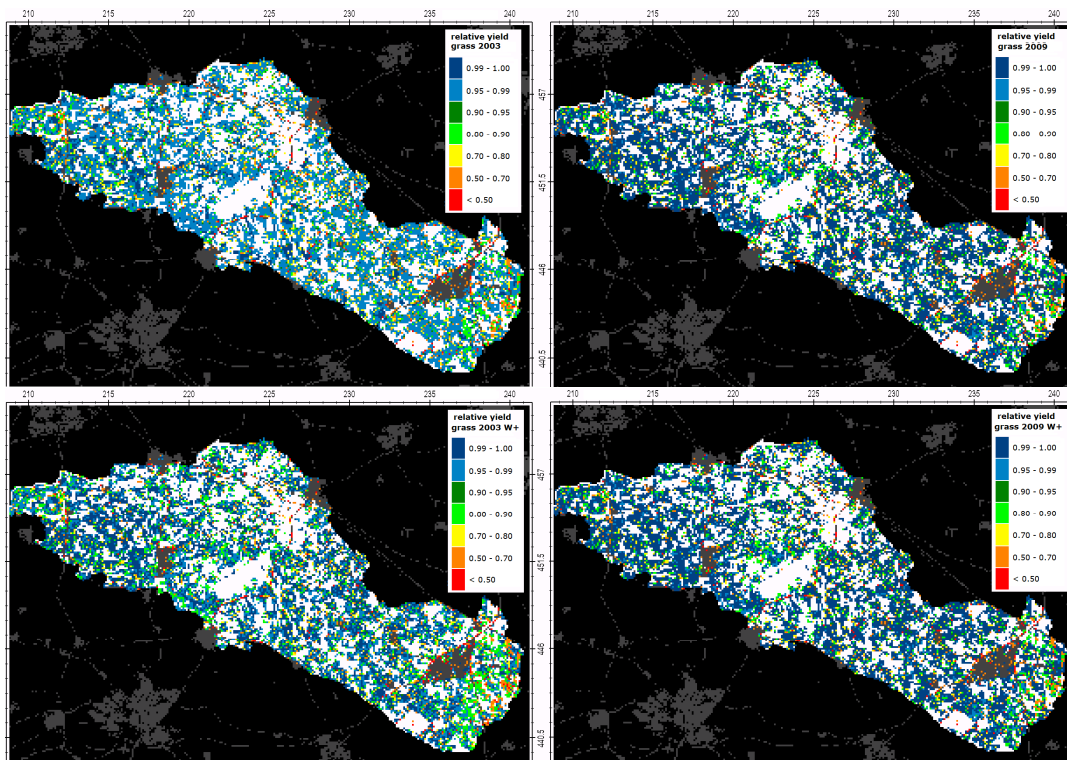
5.4.3 Resultaten modellering gewasopbrengsten

De gewasopbrengsten zijn berekend voor gras en aardappels, zowel voor het huidige klimaat als de klimaatscenario's. Door het Waterschap en LTO is aangegeven dat op de landbouwpercelen in de Baakse Beek hoofdzakelijk gras wordt geteeld, maar dat naast een relatief klein areaal aardappels ook mais wordt geteeld. Mais en andere gewassen zijn echter niet berekend, omdat de calibratie en daarmee de parameterisatie van WOFOST op perceelsniveau met SWAP-WOFOST Door Kroes en Supit (2011) wel voor gras en aardappels is uitgevoerd, maar nog niet voor andere gewassen. Voor aardappels is deze toetsing overigens nog summier uitgevoerd en voor een Schots perceel.

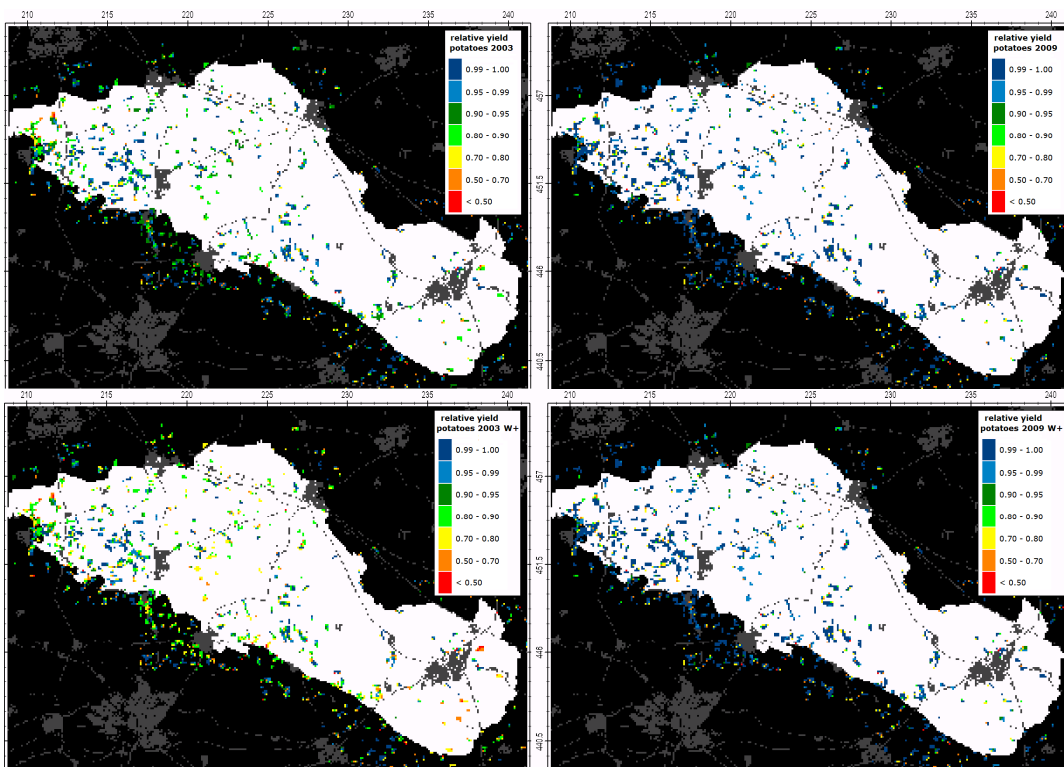
De opbrengsten zijn berekend als kg/ha en als relatieve opbrengst. Deze relatieve opbrengst is de ratio tussen de water gelimiteerde opbrengst ('haalbaar' in figuur 5.21) en de potentiële opbrengst. De resultaten van de berekeningen zijn voor jaren 2003 en 2009 (huidig en equivalent W+ scenario) weergegeven in figuur 5.24. De relatieve opbrengsten ('haalbaar' gedeeld door 'potentieel') zijn weergegeven in figuur 5.25 en 5.26. Het jaar 2003 is daarbij representatief voor een droog jaar, en 2009 een jaar waarbij de gerealiseerde opbrengsten volgens CBS-gegevens vrij hoog zijn.



Figuur 5.24 Berekende opbrengst gras (boven) en aardappels (onder) voor 2003 en 2009.



Figuur 5.25 Berekende relatieve opbrengst gras 2003 en 2009 huidig en klimaatscenario W+.



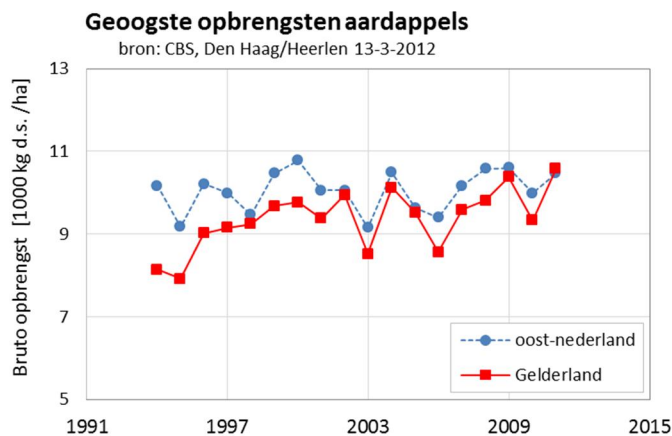
Figuur 5.26 Berekende relatieve opbrengst aardappels 2003 en 2009 huidig en klimaatscenario W+.

Bij de interpretatie van de berekende opbrengsten moeten de volgende kanttekeningen worden geplaatst:

- SWAP-WOFOST is voor gras geijkt op een beperkt aantal proefpercelen (Kroes en Supit, 2011). Hierbij is een management factor geïntroduceerd om te kunnen corrigeren voor het verschil tussen de haalbare opbrengst die tot potentieel alleen gelimiteerd is door water, en de actuele opbrengst, die verder gelimiteerd is vanwege gebrek aan nutriënten en het mogelijk optreden van ziekten, plagen / onkruid. Deze managementfactor, die in de validatie is bepaald op 55 % voor gras, is niet gehanteerd in de MetaSWAP-WOFOST berekeningen. Voor aardappels zijn de studies op perceelsniveau nog niet ver genoeg om deze factor voldoende betrouwbaar vast te stellen.
- Het modelconcept voor de verdampingstermen in de gebruikte (nieuwste) versie van MetaSWAP zijn iets anders dan de SWAP-berekeningen waarmee de parameterisatie van WOFOST tijdens de validatie op gemeten opbrengsten van proefpercelen zijn bepaald.
- Uit de figuren komt niet direct een logisch ruimtelijk patroon naar voren als gekeken wordt naar de verschillen tussen de berekende opbrengsten. Voor een grondige analyse van de rekenresultaten zou hiernaar gekeken moeten worden.

Gewasopbrengsten aardappels

Voor 2003, een jaar met een relatief erg droge zomer, zijn opbrengsten berekend van ongeveer 12000 kg d.s./ha, terwijl voor 2009 is berekend van ongeveer 14000 kg d.s. /ha. Ter vergelijking kunnen via het CBS gerealiseerde (geregistreerde) oogsten worden bekeken voor Oost-Nederland en Gelderland. Deze zijn weergegeven in figuur 5.27.



Figuur 5.27 Geoogste opbrengsten aardappels in Oost-Nederland en Gelderland.

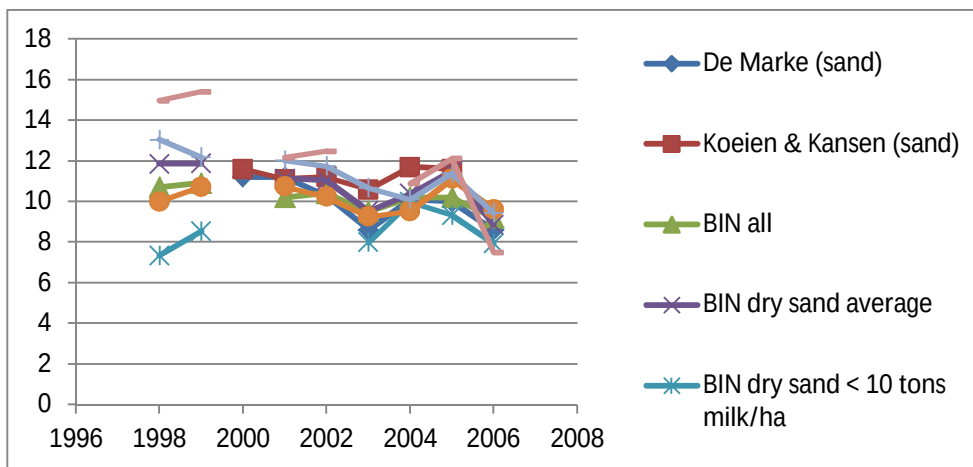
Uit de vergelijking tussen berekende en de geregistreerde geoogste opbrengsten blijkt dat de geregistreerde opbrengsten zowel in 2003 als 2009 iets lager zijn (ca 75%) dan de berekende opbrengsten; ~ 9 en 10,5 ton/ha volgens CBS versus 12 en 14 ton/ha berekend. De verhouding tussen 2003 en 2009 is ongeveer hetzelfde. Uit de modelberekeningen volgt ook dat de relatieve opbrengsten (haalbaar gedeeld door de potentiële opbrengst) varieert tussen de 0,8 en 0,95. Kennelijk is op de meeste plaatsen volgens het model meestal voldoende water beschikbaar voor de groei van de aardappels. Het hydrologisch model simuleert extra berekening in droge perioden.

In het W+ scenario is de berekende relatieve opbrengst ongeveer 10 % lager in het equivalent droge jaar 2003 en ongeveer gelijk voor het equivalente jaar 2009. De berekeningen zijn ook voor de andere klimaatscenario's uitgevoerd. Het valt echter buiten de scope van dit NMDC project om de rekenresultaten grondig te evalueren.

Gewasopbrengsten grasland

Voor 2003 zijn opbrengsten berekend die in de meeste rasters variëren tussen de 18 en 22 ton/ha. Voor 2009 zijn opbrengsten berekend die een paar (2 á 3) ton/ha hoger zijn. Ook hiervoor geldt dat geen management factor is gehanteerd.

In tegenstelling tot akkerbouwgewassen worden voor gras geen land- en regio dekkende gegevens verzameld over gerealiseerde opbrengsten. Door de WUR zijn gemeten gras opbrengsten van proefboerderij de Marke en enkele boerderijen van Koeien en kansen op een rij gezet (Verloop et al, 2007). Indirect zijn via het BIN (Bedrijven InformatieNet) actuele opbrengsten afgeleid op basis van het dieet van koeien en de opbrengsten van maïs (Aarts et al 2008). Een overzicht van de hieruit afgeleide grasopbrengsten is weergegeven in figuur 5.28.



Figuur 5.28 Opbrengsten gras in ton/ha, zoals gemeten op de Marke en Bedrijven van Koeien en Kansen (Verloop et al 2007), en afgeleid van het BIN (Aarts et al 2008).

Uit dit overzicht blijkt dat de grasopbrengsten veelal variëren tussen de 9 en 12 ton. Dit is ongeveer de helft van hetgeen met Metaswap-Wofost wordt berekend. Uit de validatie van grasopbrengst-modellering met Swap-Wofost op perceel niveau is zoals aangegeven een managementfactor afgeleid van 0,55 (Kroes et al, 2011). Dit is een gelumpete factor voor het optreden van stress door nutriënten-limitatie, ziekten en plagen. Deze factor is zoals aangegeven nu niet in de modellering verwerkt. Als deze factor wel in MetaSWAP-WOFOST zou worden verwerkt, zou een opbrengst worden berekend van globaal 10 a 12 ton/ha. Dit zou dan goed aansluiten bij de reële opbrengsten.

De relatief berekende opbrengsten voor grasland (water gelimiteerd gedeeld door potentieel) zijn in de meeste delen van het gebied vergelijkbaar met die van aardappels. De effecten van het W+ klimaatscenario's op de relatieve grasopbrengsten is globaal 3 a 10 % lager, waarschijnlijk door toename van de droogte omdat de grondwaterstanden dieper uitzakken. Vanwege het experimentele karakter van de modelkoppeling en parametrisatie zijn de rekenresultaten niet verder geëvalueerd.

5.5 Natuur

Alle resultaten van SMART2-SUMO2-NTM3 voor de Baakse Beek zijn gegeven als gemiddelde waarden voor de periode 2046-2055. Het was zuiverder geweest om voor de vergelijking de periode 2036-2065 te nemen, maar omdat we verwachtten dat de verschillen tussen de scenario's dan te klein zou zijn hebben we gekozen voor de periode van 10 jaar. Het tonen van de resultaten over 10 jaar voorkomt dat voor een peiljaar, bijvoorbeeld 2050, toevallig veel uitschieters aanwezig zijn omdat bijvoorbeeld het toevallig een droog of een nat jaar is. Nadeel van deze aanpak is wel dat de verschillen tussen de scenario's er kleiner door kunnen worden. Dit zou kunnen worden ondervangen door niet alleen naar gemiddelden te kijken, maar ook de ranges erbij te betrekken. Dat is in dit onderzoek nog niet gedaan. In paragraaf 4.6 staat vermeld hoe de uitvoer van AMIGO voor de referentie geëxtrapoleerd is naar 2036-2065.

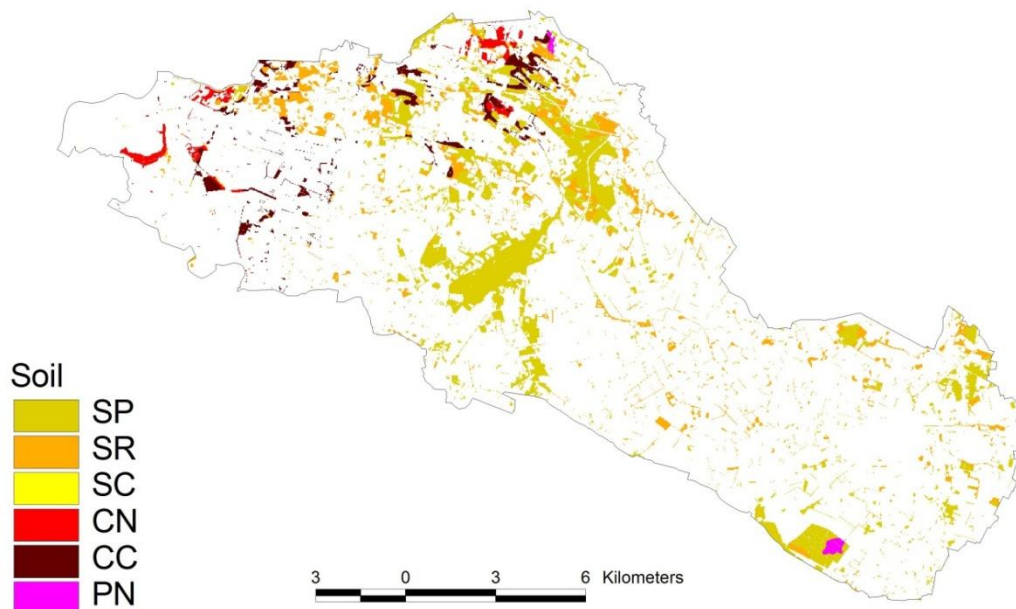
De koppeling tussen AMIGO en SMART2-SUMO2 is een koppeling achteraf. Er is geen dagelijkse of jaarlijkse terugkoppeling tussen AMIGO en SMART2-SUMO2 mogelijk, hoewel dit wel wenselijke zou zijn, o.a. vanwege de verdamping en verandering in vegetatiestructuur en (blad)biomassa. De resultaten van AMIGO, dertigjarige reeksen op dagbasis, zijn omgezet naar SMART2-SUMO2 invoer (jaartotalen). Dit levert per scenario een dertigjarige reeks op met neerslag, potentiële en actuele verdamping, neerslagoverschot, GVG (gemiddelde van de grondwaterstand op 16 maart, 1 april en 15 april) en reductiefactoren voor mineralisatie,

en (de)nitrificatie. Deze dertigjarige reeksen zijn invoer voor SMART2-SUMO2. Als nabewerking op SMART2-SUMO2 is NTM3 gedraaid.

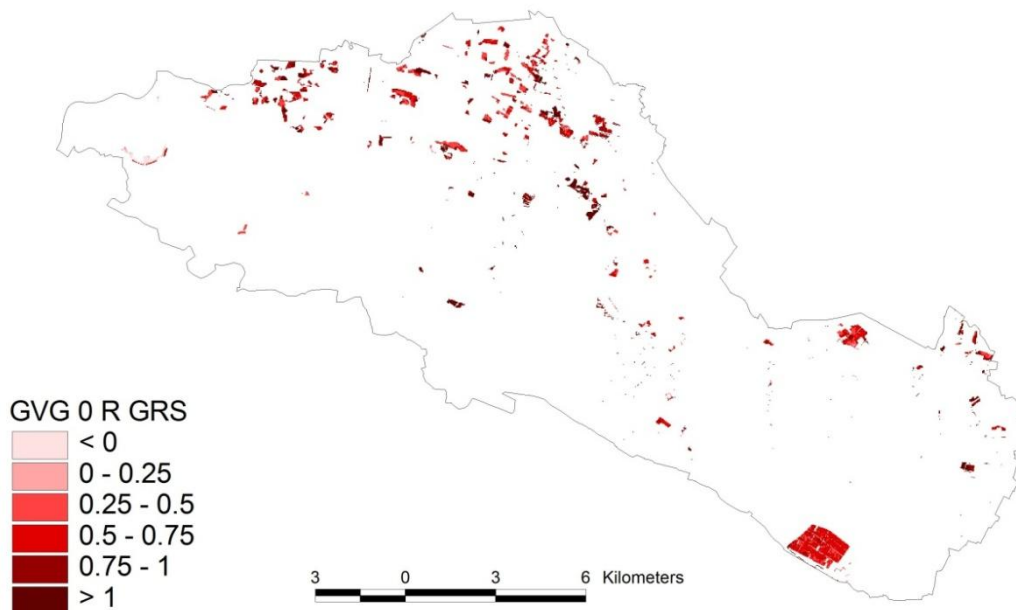
5.5.1 SMART2-SUMO2

De door AMIGO berekende GVG en de door SMART2-SUMO2 berekende pH en NO₃-gehalte onder het referentiescenario zijn gegeven in de figuren 5.30 t/m 5.32. Dit zijn de drie modeluitgangen van SMART2-SUMO2 die de natuurkwaliteit in NTM bepalen. In de figuren zijn alleen de resultaten voor gras weergegeven, omdat in de resultaten van NTM3 de meeste verschillen in graslandvegetatie te vinden zijn.

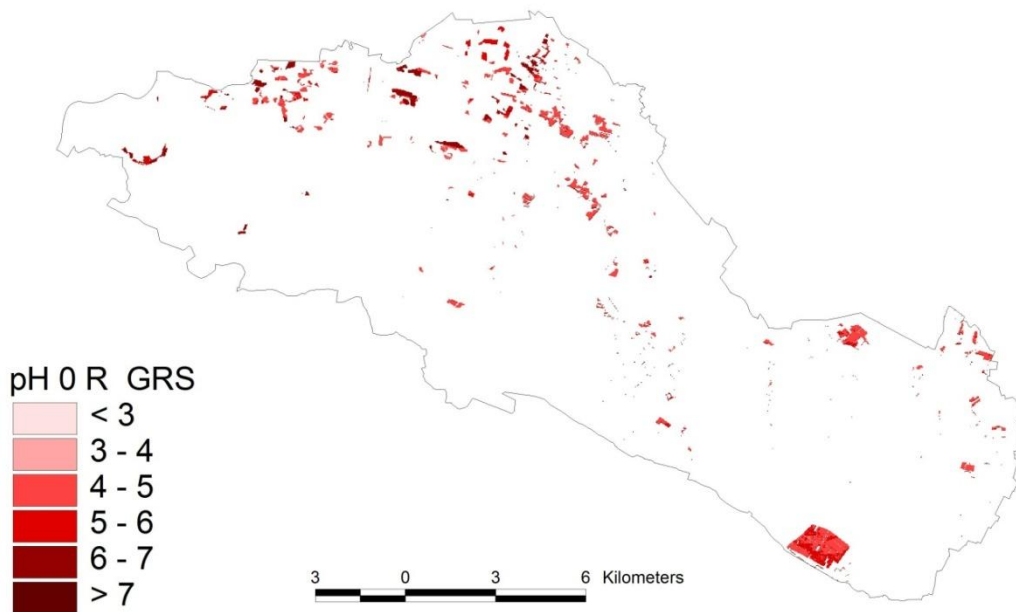
Hoge pH waarden (> 6) zijn zoals verwacht te vinden in de gebieden met relatief kalkrijke gronden (Figuur 5.29 en 5.31). Op kalkloze gronden kan een hogere pH bereikt worden door basenrijke kwel, maar dat is in deze figuren niet te zien. De hoogste nitraatgehalten komen voor op de veengronden. Dit is het meest duidelijk te zien in de Aaltense Goor in het Zuidoosten van het gebied (Figuur 5.32).



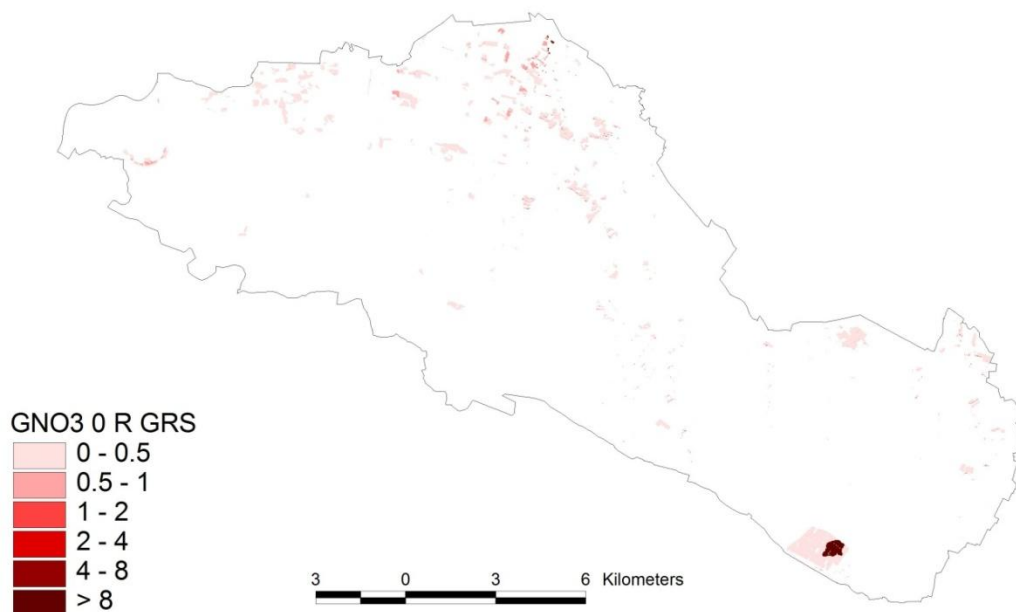
Figuur 5.29 Bodemkaart volgens de indeling van SMART2. SP = arm zand, SR = rijk zand, SC = kalkrijk zand, CN = kalkloze klei, CC = kalkrijke klei en PN = veengrond voor het Baakse Beek gebied.



Figuur 5.30 Met AMIGO berekende GVG (m-mv) voor natuurlijke graslanden in het Baakse Beek gebied.

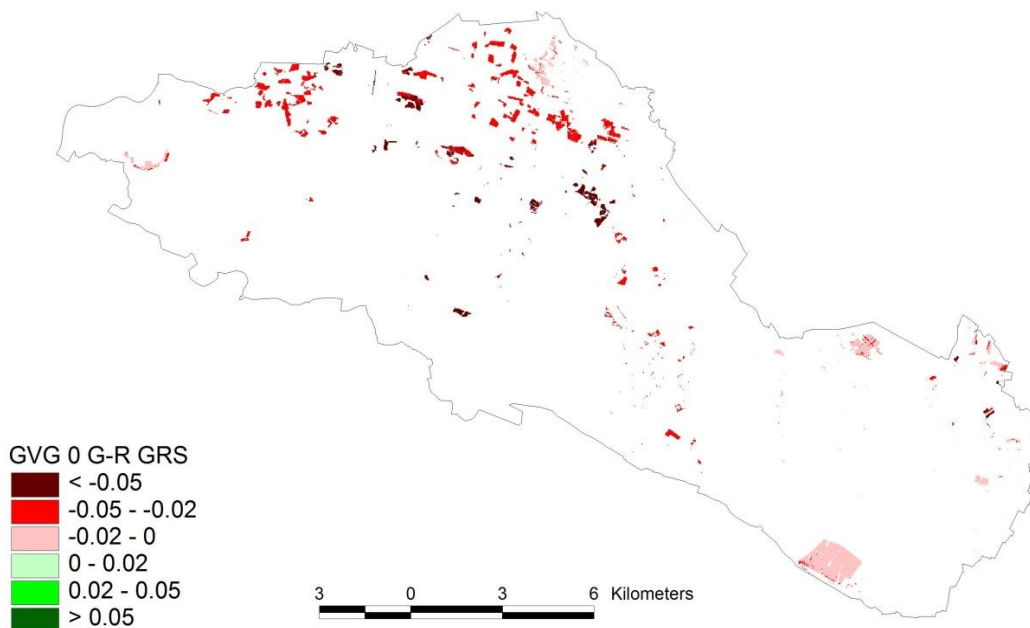


Figuur 5.31 Met SMART2-SUMO2 berekende pH voor natuurlijke graslanden in het Baakse Beek gebied.

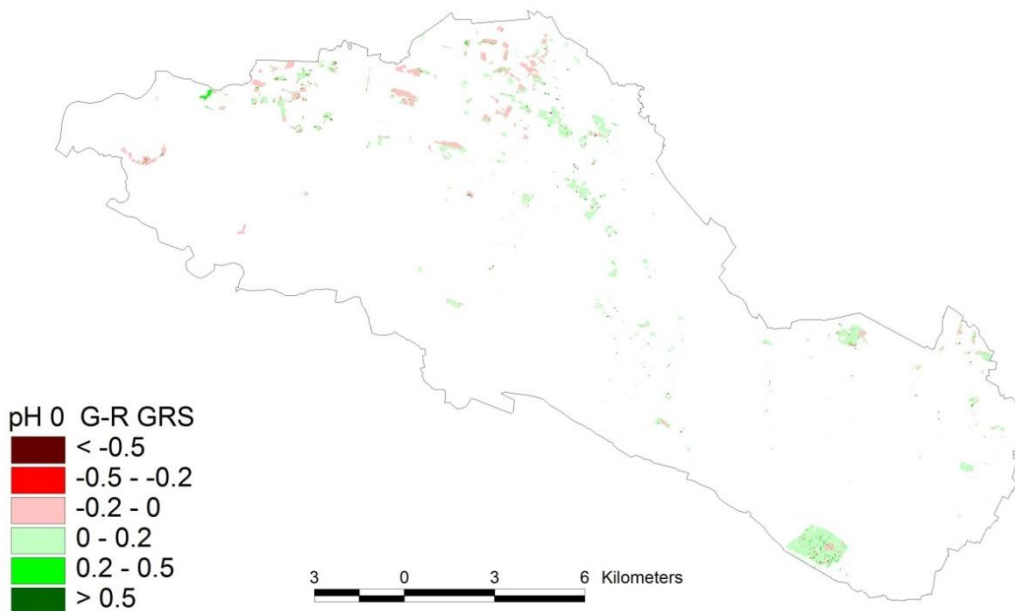


Figuur 5.32 Met SMART2-SUMO2 berekende nitraatgehalte (mg/kg) voor natuurlijke graslanden in het Baakse Beek gebied.

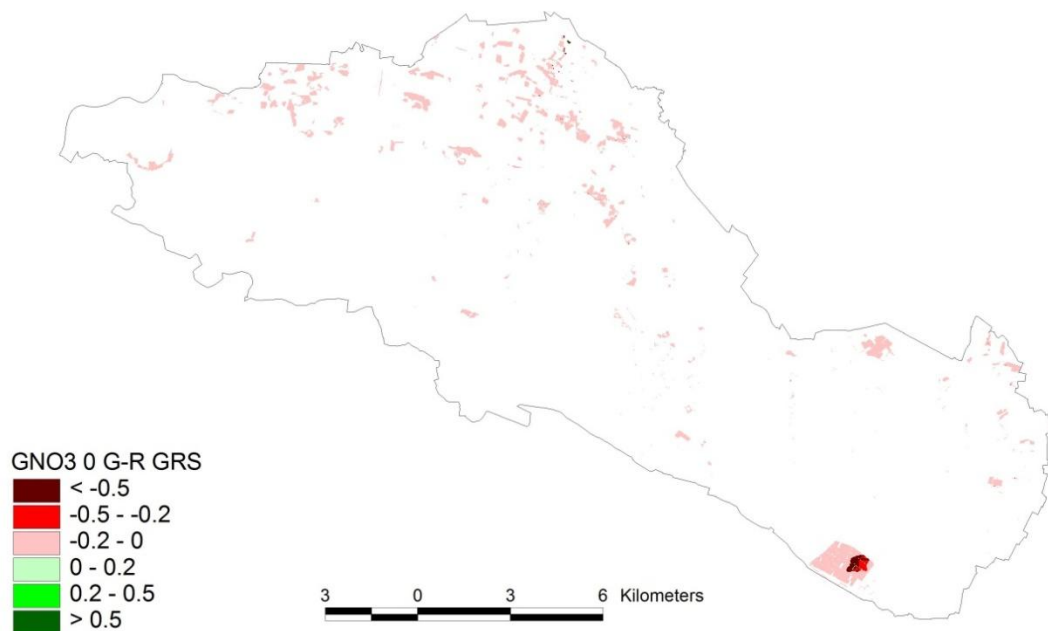
Het G-scenario heeft volgens deze berekening een positief effect op de natuurwaarde. In de figuren 5.33 t/m 5.35 is te zien dat over het algemeen in de graslanden de GVG hoger, natter, wordt, de pH toeneemt en het nitraatgehalte afneemt. De richting van al deze veranderingen draagt bij aan een toename van de natuurwaarde. Een opvallende uitzondering is het veengebied in de Aaltense goor. Daar neemt de natuurwaarde af, terwijl het nitraatgehalte ook afneemt. De afname van de natuurwaarde wordt hier waarschijnlijk veroorzaakt door de afname van de pH (minder zuur). Het nitraatgehalte neemt weliswaar af, maar de afname t.o.v. van het oorspronkelijk hoge niveau is waarschijnlijk te laag om een positieve bijdrage te leveren.



Figuur 5.33 Verskil in GVG (m) tussen referentie en G-scenario. Een positief getal betekent een diepere GVG (droger) t.o.v. de referentie.

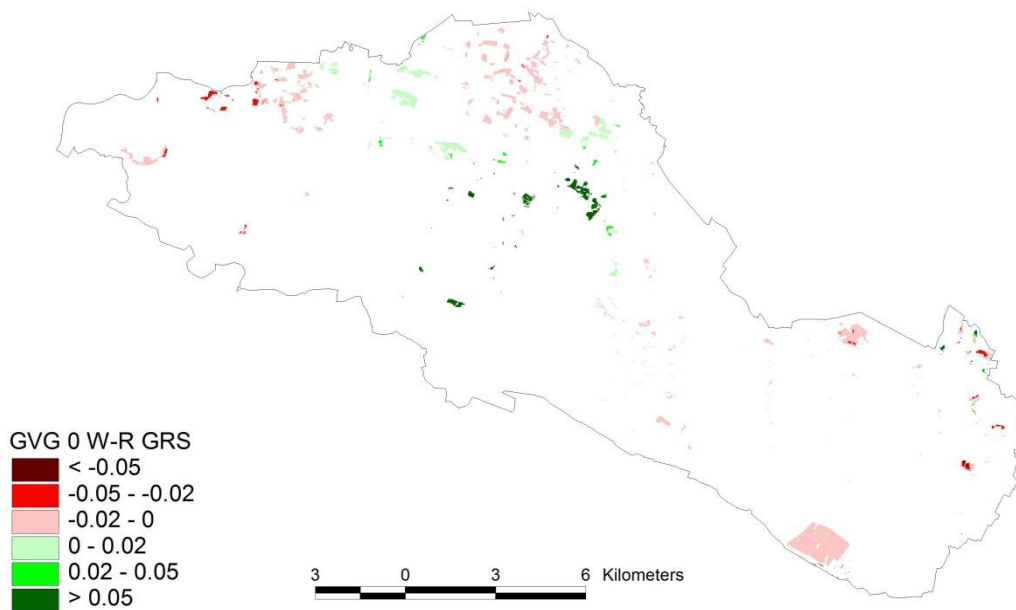


Figuur 5.34 Verskil in pH tussen referentie en G-scenario. Een positief getal betekent een hogere (dus minder zure) pH t.o.v. de referentie.

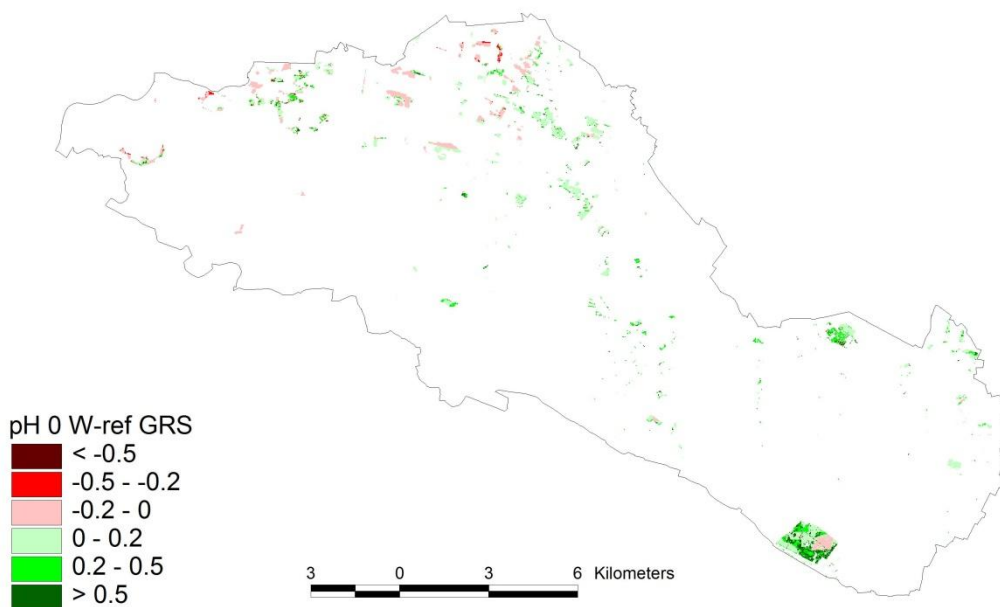


Figuur 5.35 Vershil in nitraatgehalte (mg/kg) tussen referentie en G-scenario. Een positief getal betekent een hoger (over het algemeen minder gunstig) nitraatgehalte t.o.v. de referentie.

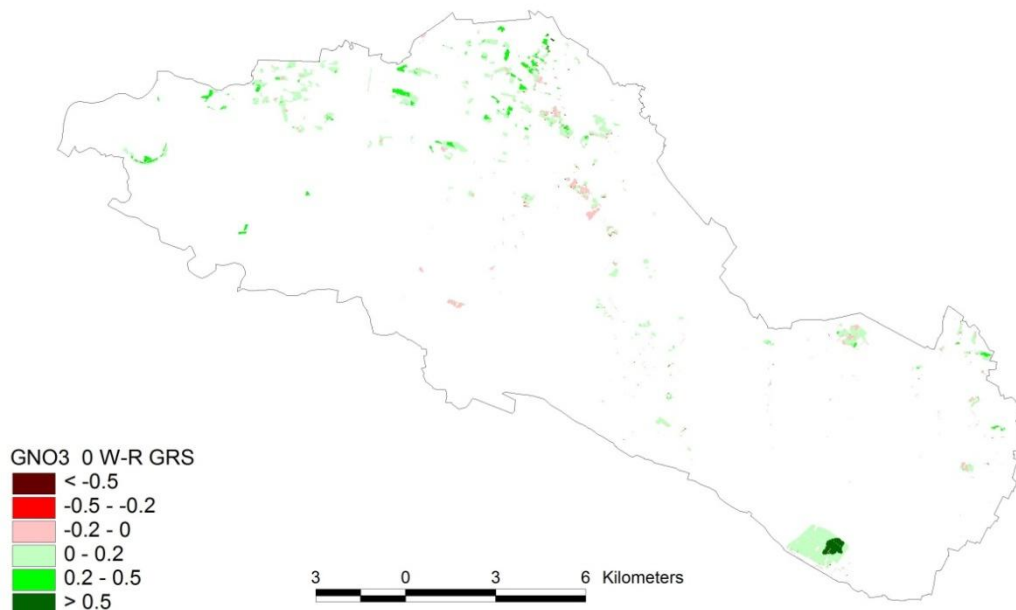
Onder het W^+ scenario neemt volgens de berekening met SMART2-SUMO2-NTM3 de natuurwaarde af. De onderliggende abiotiek lijkt meer extremen te vertonen onder dit scenario. De GVG onder het W^+ scenario neemt in sommige gebieden toe (dieper dus droger) en in sommige gebieden af (hoger dus natter). Vooral in de drogere gebieden lijkt de GVG nog dieper te worden. De pH lijkt over het algemeen hoger en dus gunstiger te worden, maar er zijn ook gebieden te onderscheiden waar de pH afneemt (meer zure condities). Dat laatste lijkt het geval in de kalkrijke gronden. Het nitraatgehalte neemt onder het W^+ scenario op de meeste plaatsen toe. De toename van het nitraatgehalte wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een toename van de mineralisatie. Onder het W^+ scenario zijn de omstandigheden voor mineralisatie blijkbaar gunstiger (hogere temperatuur en betere vochtigheid) dan voor de referentie en het G-scenario.



Figuur 5.36 Verskil in GVG (m) tussen referentie en W+-scenario. Een positief getal betekent een diepere GVG (dus droger) t.o.v. de referentie.



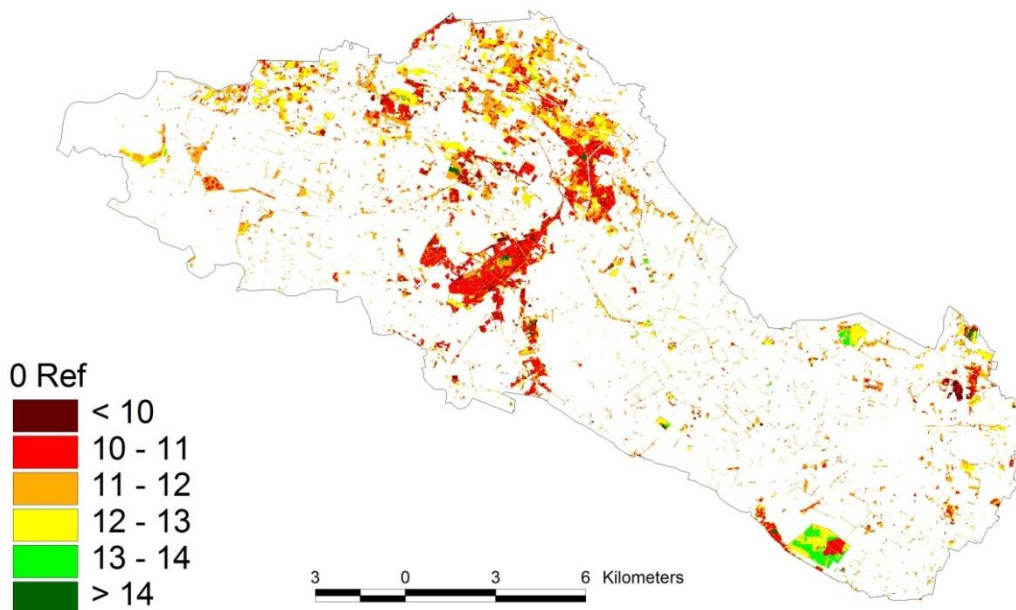
Figuur 5.37 Verskil in pH tussen referentie en W+-scenario. Een positief getal betekent een hogere (minder zure) pH t.o.v. de referentie.



Figuur 5.38 Verschil in nitraatgehalte (mg/kg) tussen referentie en W+-scenario. Een positief getal betekent een hoger (over het algemeen minder gunstig) nitraatgehalte t.o.v. de referentie.

5.5.2 NTM3

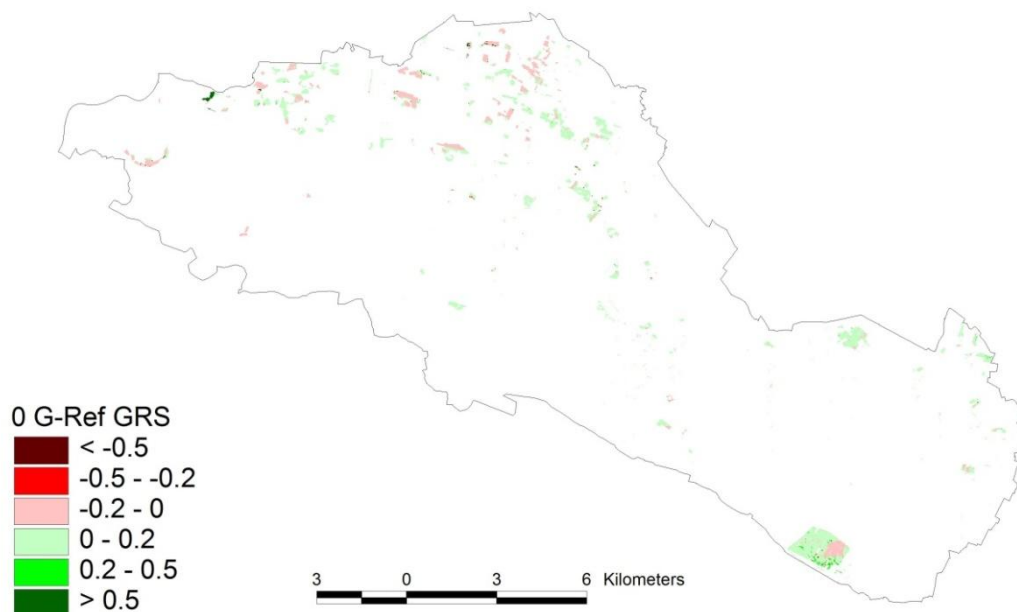
Het referentiescenario laat voor de Baakse beek zowel hoge als lage natuurbehoudswaarden zien (Figuur 5.39). Hoge waarden worden vooral berekend voor heidegebieden (een aantal snippers) en deels voor graslanden. Lage waarden worden vooral berekend voor bossen. Opvallend is de variatie in de Aaltense Goor, waar zowel hoge als lage waarden naast elkaar voor komen (rechthoekige gebied rechts beneden in figuur 5.39). Het gebied met lage waarden ligt op venige ondergrond en heeft hogere nitraat gehalten.



Figuur 5.39 Natuurbehoudswaarden voor het Baakse Beek gebied voor het referentiescenario voor bos, heide en grasland

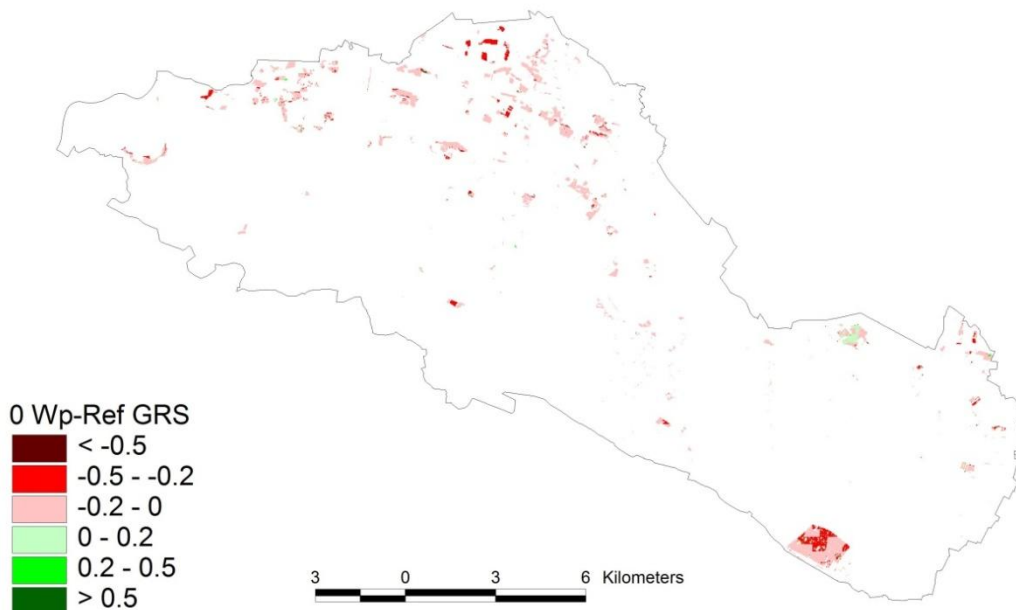
De verschillen tussen de scenario's zijn vooral te vinden voor de graslanden. Deze worden hieronder besproken. Voor zowel loof- als naaldbos zijn de NTM3 waarden laag en blijven ze laag. Voor heide geldt het omgekeerde, de waarden zijn hoog en blijven relatief hoog. Wel volgen ze de algemene trend zoals die hieronder voor grasland wordt beschreven.

Wanneer voor grasland het G scenario wordt vergeleken met het referentiescenario dan vinden er veel veranderingen plaats, al zijn deze veranderingen relatief klein (Fig. 5.40). Voor veel gebieden is onder het G scenario een toename van de potentiële natuurwaarde te verwachten. Er zijn echter ook gebieden waar verwacht wordt dat de natuurwaarde achteruit gaat. In de Aaltense Goor wordt over het algemeen een vooruitgang verwacht, maar het venige stukje gaat juist achteruit. Voor de graslanden rond Vorden wordt voor een relatief groot deel een achteruitgang verwacht, terwijl rond Baak juist overwegend een vooruitgang wordt verwacht. Voor Koolmansdijk wordt over het algemeen een positieve trend verwacht. Het G-scenario is dus over het algemeen een gunstiger scenario dan het referentie scenario. Dit wordt waarschijnlijk mede veroorzaakt door de grotere neerslag.



Figuur 5.40 Vergelijking van NTM3 natuurbehoudswaarde tussen de referentie en het G-scenario. Negatieve waarden geven aan dat de potentiële natuurbehoudswaarde voor de referentie hoger is dan het G-scenario.

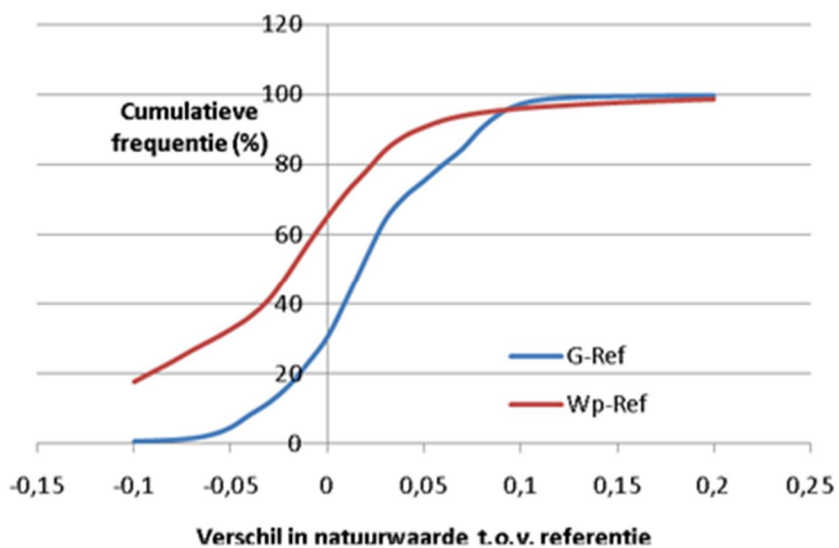
Zijn er voor de vergelijking tussen de referentie en het G-scenario veel positieve effecten te zien op de natuurbehoudswaarde, voor de vergelijking tussen de referentie en het W⁺-scenario gaat dit duidelijk niet op. Het W⁺-scenario resulteert voor heel veel gebieden in een lagere potentiële natuurbehoudswaarde. Verspreid in het onderzoeksgebied zijn er een aantal plekken te vinden waar de situatie niet achteruit gaat. Het belangrijkste gebied waar dit optreedt is Koolmansdijk. De resultaten komen overeen met de verwachting dat het W⁺-scenario een negatief effect heeft op de natuur. Minder neerslag, warmer en een grotere verdamping van het W⁺-scenario leiden tot een lagere potentiële natuurwaarde en dus mogelijk lagere biodiversiteit.



Figuur 5.41 Vergelijking van NTM3 natuurbehoudswaarde tussen de referentie en het W+-scenario. Negatieve waarden geven aan dat de potentiële natuurbehoudswaarde voor de referentie hoger is dan het W+-scenario.

In Figuur 5.42 zijn de cumulatieve frequentieverdelingen van de verschillen van het G en W⁺ scenario met de referentie uitgezet. Op deze manier is goed te zien voor welke percentage de natuurwaarde toeneemt (verschil is positief) of afneemt (verschil is negatief). Er vallen een aantal zaken op:

1. Onder het G-scenario berekent NTM voor ongeveer 70% van de gridcellen een hogere natuurwaarde dan de referentie en voor ca. 30% een lagere natuurwaarde dan de referentie.
2. Onder het W⁺-scenario is dit bijna andersom: 35% van de gridcellen heeft onder het W⁺-scenario een hoger berekende natuurwaarde dan de referentie en ca. 65% een lagere.
3. Beide lijnen kruisen elkaar, wat betekent dat er een zeer beperkt aantal gridcellen zijn waar het W⁺-scenario tot hogere potentiële natuurwaarden leidt dan het G-scenario.
4. De verschillen tussen de referentie en de scenario's zijn relatief klein en lopen van grofweg -0.1 tot 0.15, wat overeenkomt met een maximaal verschil van ongeveer 1% van de absolute natuurwaarde.



Figuur 5.42 Cumulatieve frequentieverdeling voor het verschil in potentiële natuurbehoudswaarde tussen het G en referentie scenario (G-ref) en het W+ en referentie scenario (Wp-Ref) voor alle vegetatietypen samen.

6 Omgaan met onzekerheden

6.1 Inleiding

Doel onzekerheidsanalyse

Wanneer we voorspellingen doen met een model(keten) dan is van belang een indicatie te hebben van de waarde van een modeluitkomst, of anders gezegd, hoe ver een voorspelling kan afwijken van de werkelijkheid. Dit is het doel van onzekerheidsanalyse. Via de modelketen werken verschillende oorzaken van onzekerheid door in het uiteindelijke resultaat: de voorspelling. De relatie tussen de onzekerheid in deze oorzaken enerzijds en de voorspelling anderzijds kan in principe via onzekerheidsanalyse kwantitatief worden gemaakt. Daarnaast zijn er processen die niet (of alleen vereenvoudigd) met de modelketen worden beschreven. Onzekerheden als gevolg hiervan worden niet via de modelketen gekwantificeerd. In het onderhavige geval zijn macro-economische, politieke en demografische veranderingen niet meegenomen en de onzekerheden over de ontwikkelingen in deze domeinen komen dan ook niet terug in de gekwantificeerde onzekerheid van de voorspellingen. Ook onzekerheden in de regionale besluitvorming zijn niet meegenomen.

Verskillende oorzaken van onzekerheid binnen de modelketen

Binnen de context van deze studie gaat het om fysische modellen uitmondend in gewasgroei en natuurontwikkeling. Deze modellen zijn vereenvoudigingen van de werkelijkheid, waarbij een beperkt aantal processen wordt beschreven met vereenvoudigde relaties. Binnen de modellen zijn drijvende krachten en eigenschappen (parameters) te onderscheiden. Beide zijn niet exact bekend. 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. Drijvende krachten zijn meestal variabelen die in het verleden gemeten zijn. Voor een modelvoorspelling worden schattingen van de drijvende krachten gemaakt voor de toekomst. Voor de modelleur is de betrouwbaarheid van deze schattingen een gegeven. De doorwerking van de onzekerheid in de drijvende krachten op de modelvoorspelling kan wel worden berekend. Bij een modelketen kan het modelresultaat van het ene model de drijvende kracht zijn van het andere model.

Evenals de onzekerheid in de drijvende krachten resulteren ook parameteronzekerheden in onzekerheid in de modelvoorspelling. In tegenstelling tot de drijvende krachten (die dynamische variabelen zijn), zijn de eigenschappen veelal tijdsafhankelijk. Dit maakt het mogelijk om de onzekerheid van de parameters te verkleinen via kalibratie. Kalibratie is een proces waarbij de parameterwaarden worden bijgesteld om het verschil tussen de modeluitkomsten en veldmetingen te minimaliseren. Door monitoring en kalibratie kan dus in principe de parameteronzekerheid worden verkleind. Om met een beperkte dataset te kunnen kalibreren, worden verbanden verondersteld tussen parameterwaarden (bijvoorbeeld zonering of geostatistische verbanden). De invloed van dit soort keuzen is niet expliciet zichtbaar. Tot slot kunnen ook extra onzekerheden ontstaan bij het koppelen van verschillende modellen, bijvoorbeeld omdat de rekengrids niet overeenkomen.

Verskillende begrippen bij onzekerheidsanalyse

Bij onzekerheidsanalyse worden verschillende begrippen niet altijd even eenduidig gebruikt. Het begrip **betrouwbaarheid** is in het voorgaande al geïntroduceerd. 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 gegeven de vereenvoudigingen. Een ander modelconcept levert dus in het algemeen ook een andere onzekerheid op. 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 de bandbreedte aan te geven van het modelresultaat (in dit geval de voorspelling) en de relatie te kwantificeren tussen deze bandbreedte en de onzekerheid van de drijvende krachten en parameters (soms ook modelconcepten). Een eerste stap hierbij kan een **gevoelighedsanalyse** 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. In de vorige paragraaf is **kalibratie** al ter sprake gekomen. **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). Bij een valide model moeten de afwijkingen in de validatie redelijk goed overeenkomen met die in de kalibratie. Theoretisch is een model alleen geldig binnen het waardenbereik waarin de validatie is uitgevoerd.

Modellen en besluitvorming

Modelvoorspelling worden gebruikt om ontwikkelingen in te schatten, het effect van maatregelen door te rekenen en besluiten te nemen. De modelvoorspelling geeft altijd een antwoord op de vraag 'wat gebeurt er als'. Naar mate de onzekerheid van de modelvoorspelling groter is, is ook het risico groter dat er ofwel ten onrechte dure maatregelen worden genomen, die niet noodzakelijk blijken te zijn, ofwel ten onrechte geen (of niet tijdig) maatregelen worden genomen. Het is zelfs mogelijk om maatregelen te nemen die averechts uitwerken.

In het ideale geval is er een balans tussen de inspanningen (kosten) die nodig zijn om een bepaalde betrouwbaarheid te bereiken enerzijds en de kosten en baten van maatregelen anderzijds. Een lange termijn voorspelling geeft de mogelijkheid om tijdig besluiten te nemen en de kosten over langere tijd uit te smeren. Echter in het algemeen zullen voorspellingen onzekerder worden naar mate de voorspellingstermijn langer wordt. De onzekerheidsanalyse levert een range op waarbinnen de voorspelde grootte zich zal bevinden. No-regret maatregelen zijn maatregelen die voor de hele voorspellingsrange een positief effect hebben.

Onzekerheden als gevolg van processen en domeinen die niet met de modelketen worden beschreven, dienen op een andere wijze te worden gewogen. Een modelvoorspelling zal daarom altijd slechts een onderdeel vormen van de besluitvormingsprocedure.

6.2 Aanpak

Klimaat- en toekomstbestendig integraal waterbeheer –en beleid zal altijd te maken hebben met risico's en onzekerheden. De onzekerheid over het gedrag van het biofysisch systeem aan de ene kant, en aan de andere kant de onzekerheid over sociale, economische en demografische ontwikkelingen, inclusief de onderlinge wisselwerking tussen biofysisch en sociaal systeem, maakt dat het effect van beleids- en beheersmaatregelen nooit met zekerheid te bepalen is.

Om in te schatten of - en hoe - met deze onzekerheden rekening gehouden moet (en kan) worden is het van belang om na te gaan:

1. wat de vragen, zorgen en perspectieven van betrokken belanghebbenden zijn (bijvoorbeeld lokale en regionale overheid, bedrijven, huishoudens, burgers) ten aanzien van de waterbeheer problematiek;
2. wat - in het verlengde daarvan - de belangrijkste onzekerheden zijn bij die problematiek (en aldus vooral in kaart moeten worden gebracht), en
3. hoe de belangrijkste consequenties van deze onzekerheden voor beleid en besluitvorming uitgewerkt en gecommuniceerd kunnen worden.

Dit zijn issues die ook relevant zijn wanneer modellen en modelberekeningen worden ingezet om kennis en informatie aan te leveren bij besluitvormingsprocessen. Om dit aan de orde te stellen is in dit project de volgende aanpak gehanteerd:

In eerste instantie is via een workshop met projectteamleden een quickscan uitgevoerd aan de hand van de PBL Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden⁷ om in een vroeg stadium in kaart te brengen wat er over onzekerheden en aannames in de modellen en data wel en niet bekend is. Ook is hierbij de bruikbaarheid getest van de webtool waarmee de quickscan is uitgevoerd (paragraaf 6.3)

Daarnaast zijn interviews gehouden met belanghebbenden om een goed beeld te krijgen hoe ze tegen de huidige en toekomstige waterhuishoudingsproblematiek in het stroomgebied van de Baakse Beek aankijken en wat hun behoefte aan informatie is ten aanzien van wateroverlast en -tekort en van de invloed die klimaatverandering en andere onzekerheden hierop hebben. Ook konden ze aangeven over welke onzekerheden ze meer inzicht wensten, en in welke vorm. Dit alles is voor het projectteam van belang om te kijken of en hoe de modelinstrumenten kunnen worden ingezet om op die behoefte aan te sluiten (paragraaf 6.4)

Vervolgens heeft een nadere kwantitatieve en kwalitatieve uitdieping van onzekerheden plaatsgevonden (paragrafen 6.5-6.7). Hierbij is een raamwerk voor het in kaart brengen van de belangrijkste onzekerheidsbronnen in een modelleerketen (bijlage VI) de basis geweest om per onderdeel (c.q. model) van de keten de belangrijkste onzekerheden aan te duiden in modelparameters (inclusief kalibratie), modelinputs, modelconcepten en modelkoppelingen. Voor zover mogelijk en haalbaar is er kwantificering van onzekerheden nagestreefd, door middel van kalibratie en/of validatie (aan de uitgangssituatie), scenario-berekeningen en gevoeligheids-analyses. Ook is per model kwalitatief beoordeeld in hoeverre het bruikbare en plausibele informatie kan aandragen die tegemoet komt aan de vragen/informatiebehoeften van de belanghebbenden. Deze informatie is ook van belang voor de terugkoppeling van de projectresultaten naar belanghebbenden die in de eindfase van het project heeft plaatsgevonden. Als aanvulling op de eerdere analyses, is er afsluitend ook nog een verdiepende kwalitatieve onzekerheidsanalyse uitgevoerd die zich specifiek richt op de belangrijkste aannames die aan de modelleerketen ten grondslag liggen, en hierbij een beeld probeert te geven van hun onderbouwing en beperkingen inclusief de mogelijke invloed hiervan op de resultaten van de modelberekeningen (paragraaf 6.8).

6.3 Resultaten Quickscan PBL Leidraad

Om in een vroeg stadium in beeld te brengen welke onzekerheden er spelen in de Baakse Beek casus en om te reflecteren hoe hiermee om te gaan is de PBL Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden⁸ ingezet. Dit instrument focust op het breed in kaart brengen van de onzekerheden, en belicht de rol die ze spelen bij beleidsadvisering. Het sondeert welke kennis over onzekerheden al aanwezig is, en welke lijkt te ontbreken, en welke van nut kan zijn.

Zoals gezegd is de scope op onzekerheid hierbij breed, en richt deze zich zowel op de 'hardere', kwantitatieve kant, als ook op de 'zachtere', kwalitatieve kant van onzekerheid:

- Allereerst wordt aandacht besteed aan probleemperceptie en –afbakening (probleem framing), en stakeholder-betrokkenheid⁹: Welke problematiek speelt er, en voor wie? Welke visies zijn er op de problematiek¹⁰? Welke zaken zijn voor de verschillende stakeholders van belang? Wat willen ze weten? In hoeverre is informatie over

⁷ <http://leidraad.pbl.nl/help>

⁸ Deze leidraad is door het PBL, in samenwerking met UU (dr. J. van der Sluijs) en andere instituten, ontwikkeld en is beschikbaar als web-ondersteunde applicatie: <http://leidraad.pbl.nl/>

⁹ Bij de vraag hoe om te gaan met stakeholder-participatie kan de 'Leidraad Stakeholderparticipatie' assistentie bieden. Deze leidraad is gelinkt met de Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden en is ontwikkeld door de Radboud Universiteit Nijmegen en het PBL.

¹⁰ Bedenk dat meerdere perspectieven op de problematiek bij beleidsmakers en andere stakeholders (multi-pele framing) kan leiden tot extra onzekerheid over hoe maatregelen/strategieën zullen uitpakken.

onzekerheid voor hun van belang, en in welke vorm zou deze bruikbaar kunnen zijn voor hen?

- Daarnaast wordt ook belicht wat de rol van graadmeters (indicatoren), de inbreng van kennis en methoden, het gebruik van modellen, data en scenario's is bij de daadwerkelijke beleidsanalyse: Welke type onzekerheden kunnen hierbij onderkend worden, waar spelen deze een rol, hoe kun je de meest (beleids)relevante onzekerheden vaststellen? Wat zijn de mogelijke gevolgen van deze onzekerheden voor beleid, politiek en samenleving, bijvoorbeeld in termen van potentiële effecten en risico's, en hoe kan hier eventueel mee worden omgegaan? Hoe kunnen deze bevindingen adequaat gecommuniceerd worden richting opdrachtgevers en stakeholders?

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. Tijdens een ochtend workshop op 26 april 2011 is een begin gemaakt met de invulling van de Mini-Check. Na afloop van de workshop is verdere informatie aangevuld. Een beschrijving van de bevindingen voor de onderwerpen 'Probleem afbakening', 'Stakeholder betrokkenheid', 'Graadmeterkeuze', 'Kennis toereikendheid', 'Relevante Onzekerheidsbronnen', 'Onzekerheidscommunicatie' is te vinden in bijlage VIII.

Uit de resultaten van de quickscan 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 momenteel nog onvoldoende zicht is op de complete doorwerking van deze onzekerheden op de resultaten. Resultaten van de uitgevoerde (kwantitatieve en kwalitatieve) onzekerheids- en gevoeligheidsanalyses uit de paragrafen 6.5-6.8 vormen een goede aanzet, maar dekken nog niet het hele spectrum af.

Nu de modelketen voldoende operationeel is biedt deze in de toekomst 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. Wel hebben we hierbij rekening te houden met beperkingen qua rekentijd. Dat kan betekenen dat voorlopig het maximaal haalbare is dat 'zuinige' gevoeligheidsanalyses worden uitgevoerd waarbij factoren (onzekerheidsbronnen) op slimme wijze gecombineerd worden ingesteld, in plaats van ze stuk voor stuk te variëren. De bevindingen die uit deze NMDC studie naar voren komen kunnen richting gevend zijn voor de keuze welke factoren (onzekerheidsbronnen) hierbij met name bekeken kunnen worden.

Tot slot laat de verkennende quickscan analyse van de PBL-Leidraad ook een evaluatie toe op de aspecten gebruiksgemak en nut:

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. 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 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 raamwerk voor

het inventariseren van de belangrijkste onzekerheidsbronnen in een modelketen (bijlage VI) lijkt hiervoor goed bruikbaar.

De huidige web-applicatie 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 bijv. niet mogelijk om plaatjes op te nemen), ook ontbreekt 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 aannames 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 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 leidraad binnen deze studie niet of nauwelijks gefunctioneerd. Daarvoor is vereist dat de 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. Zo een 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.

6.4 Perceptie en gebruik van onzekerheden voor de stakeholders

Onzekerheden

Het aspect onzekerheden is bediscussieerd in relatie tot het modelleninstrumentarium en andere factoren. In de gesprekken is herhaaldelijk gekeken hoe binnen de organisaties om wordt gegaan met onzekerheden voortkomend uit modellen. Het toetsen aan de situatie in het veld (bijv. middels peilbuiswaarnemingen) en het gebruik van 'ervaringskennis van ervaringsdeskundigen' zijn hierbij belangrijk.

".... Dus je modellenwerk checken bij die mensen die het gebied echt kennen vanuit de praktijk en bij direct belanghebbenden. Dit wordt erg gewaardeerd. Boeren kunnen specifieke informatie aangeven die niet in de modellen zijn meegenomen ..."

De respondent van het waterschap gaf een voorbeeld van het omgaan met onzekerheden rondom de kans op inundatie mede doordat de grondwater- en oppervlaktemodellering gescheiden trajecten zijn met mogelijke gevolgen van schadeclaims.

“...De wijze waarop het oppervlaktewater in het grondwatermodel zit is toch redelijk plat. En daar komt niet tegelijkertijd de kans op inundatie uit naar voren. Naar de toekomst toe zou dat het meest handige zijn.

Stel dat we met watergangen aan de gang gaan en de peilen worden gemiddeld genomen hoger en ook de stroming van het grondwater naar dat oppervlaktewater toe, dus de hoeveelheid per tijdsstap. Die stoppen we dan in de modellen. Het grondwatermodel kan dan aangeven hoe het grondwater dan naar het oppervlaktewater stroomt. Dat stoppen we dan in een aparte berekening in een oppervlaktewatermodel. En dan zie je op een bepaald moment in je model inundatie verschijnen. Het zijn dus twee modellen die je dan beiden achter elkaar moet laten rekenen om overstroming in beeld te krijgen. Dit hebben we voor de Baakse Beek al een keer gedaan...”

Respondenten van Natuurmonumenten gaven aan de ervaring te hebben dat er veel (model) berekeningen langskomen waar altijd onzekerheden in zitten, maar dat die niet of nauwelijks expliciet worden gemaakt.

“...We krijgen nooit een uitkomst met een bandbreedte. Dus we weten eigenlijk niet hoe we met onzekerheden om moeten gaan. En, hoe moet je nu omgaan met een uitspraak “het gemiddelde is dit maar de spreiding is dat...”?”

Er lijkt wel een soort reserve te bestaan bij modeluitkomsten.

“...Soms weet je dat het model fout zit, maar in een gebiedsproces besluit je met z'n allen toch dat deze uitkomsten het beste is wat je hebt. Maar dit besluit baseer je eigenlijk nergens op...”

De ene respondent zegt meer rekening te houden met onzekerheden met betrekking tot klimaat dan anderen. Zo gaf een respondent van Natuurmonumenten aan:

“...We doen nog steeds of alles bij het oude blijft. We weten nog niet waar we aan toe zijn. Omdat het onzeker is ga je door met wat je gisteren had. Het is nog erg beschrijvend. We anticiperen nu nog niet op klimaatverandering. Hoe dat over 10 jaar is weten we niet...”

In de onderstaande tabel (tabel 6.1) zijn in detail de percepties van de stakeholders aangegeven met betrekking tot de belangrijkheid van onzekerheden die spelen bij wateroverlast, watertekort en verdroging.

Tabel 6.1 Percepties van stakeholders met betrekking tot. belangrijkheid van onzekerheden die spelen bij zoetwaterschaarste/verdroging/vernattingsproblematiek (1 heel belangrijk; 2 belangrijk; 3 matig belangrijk; 4 niet belangrijk).

	Natuurmonumenten	LTO Noord	Waterschap	Provincie Gelderland
Weersextremen	4 Weersextremen horen er gewoon bij. Een droog voorjaar is minder schadelijk dan een droge zomer.	1 Discussie bij wateroverlast is: wat is de rol van het KNMI? Is de informatie voldoende geweest. En wat is de informatie die uit Duitsland komt/zou moeten komen?	2 Wij moeten maatregelen treffen die voor een langere termijn robuust zijn.	1 Is door zware regenval in augustus 2010 heel belangrijk geworden (met name voor agrariërs) Op gebiedsniveau is men hier niet onzeker over. Men vindt dat er maatregelen moeten komen. Het gaat niet alleen om fysieke maatregelen maar ook over bijvoorbeeld verzekeringen.
Sociaal-economische ontwikkelingen	1 Vergrijzing is de nekslag voor ontwikkelingen rondom natuur. De huidige bezuinigingen komen grotendeels voort uit de voortgaande vergrijzing. Dit is vele malen belangrijker dan een GHG verhoging op een bepaald plekje op een bepaald moment.	3 De discussie over vergrijzing, krimp en toerisme is soms wat overtrokken. Marktontwikkeling: We produceren voor de wereldmarkt of we willen ons product meer regionaal verspreiden. Dit zijn keuzes van de ondernemers.	2-3 Wel relevant vanuit waterkwaliteits-oogpunt en/of vanuit wat de burger vraagt aan recreatief gebruik. Daar houden we als waterschap wel rekening mee.	2 Belangrijk, maar de algemene principes van schaalvergroting bestaan in het gebied en gaan door. De Baakse Beek blijft een landelijk gebied.
Onduidelijkheid of onenigheid over beleids-doelen	1 We zijn nog steeds onzeker over hoe het natuurbeleid uitpakt. Als het beleid onzeker is dan gebeurt er ook niks. Als organisatie zijn we ons aan het herpositioneren	2 Voor boeren is vertrouwen in overheid erg belangrijk	-	3 Op het gebied van natuurbeleid is er helemaal niet zo'n grote onzekerheid. We zijn al 20 jaar met hetzelfde bezig. Het natuurbeleid is als een utopische ambitie neergelegd, en er is nooit getoetst hoe haalbaar en betaalbaar dat was.
Onduidelijkheid of onenigheid over de effectiviteit van maatregelen	2 Je weet pas na afloop het effect als de maatregel genomen is	1 Er ligt een rol voor LTO om ondernemers hierin te helpen	3-4 Met de kennis van externe adviseurs komen we ver.	2 Er zit veel onzekerheid in de effecten van maatregelen op het gebied van peilbeheer.
Onzekerheden in de modellen qua data (invoer) en/of modelconcepten		4 We werken niet met modellen. Boerenkennis voldoet vaak.	3 Elk model heeft een bepaalde bandbreedte als die maar duidelijk is. Bestuurders besluiten toch snel deels op die extremen maar ook wel op de grootste gemeenschappelijke deler.	4 Daar is in kader van Amigo aan gewerkt en is nu goed. De onzekerheid die er in zit is zo klein vergeleken met alle dingen die eerder genoemd zijn dat het niet bepalend is.

Communicatie over onzekerheden

Volgens een van de respondenten kun je voor de communicatie over bijvoorbeeld weersextremen statistiek gebruiken. Daar komen verder geen modellen aan te pas. Het toelichtende verhaal dat je hierbij houdt is belangrijk. De kans op verandering in extremen als gevolg van klimaatsverandering zou je bijvoorbeeld in percentages kunnen uitdrukken. Een andere respondent gaf aan dat onzekerheid met betrekking tot weersextremen veel met timing te maken heeft.

“..Tijdens de regenval zie je allerlei opschalingen naar crisisniveaus gebeuren. Een paar dagen later komt pas de daadwerkelijke schade bij de boeren. En dan gaat het fout....”

Verder wees een respondent op het belang duidelijk te communiceren wat we wel en allemaal niet zeker weten (bijvoorbeeld piekneerslag), en hoe hier mee rekening wordt gehouden in relatie en de effecten.

“...Als ik een uur de tijd hebt om in een bijeenkomst voor burgers en agrariërs uit te leggen wat klimaatverandering inhoudt, dan wil ik kort kunnen uitleggen wat de globale denkrichtingen zijn in de klimaatontwikkelingen (de scenario's), wat zo ongeveer zeker is, welke trends we al zien via metingen. Kortom, dat we dus niet alleen werken op basis van een modelinschatting. Vervolgens kun je aangeven welke effecten je mag verwachten op basis van die trend en wat je daar aan zou kunnen doen in termen van maatregelen (deze benoemen en beoordelen).... “

Diverse respondenten achten het van belang aan te geven dat de modellen er niet zijn om een situatie exact te kunnen beschrijven/voorspellen maar meer moeten worden gezien als een hulpmiddel voor het inschatten van risico's en om te kunnen zien wat de gevolgen van maatregelen kunnen zijn. Voor het verkrijgen van draagvlak voor een modelinstrument wordt het van belang geacht om het model met zoveel mogelijk gegevens te ijken.

Voor het NMDC modelleninstrumentarium zou in de handleiding aangegeven moeten worden welke onzekerheden in het instrumentarium aanwezig zijn, waardoor deze onzekerheden ontstaan en hoe een gebruiker met die onzekerheden om dient te gaan. Verder zouden onzekerheden in de vorm van kansencarten gecommuniceerd kunnen worden. Bijvoorbeeld kaarten die - rekening houdend met de onzekerheden - op perceelniveau laten zien dat de kans om een bepaald vegetatietype aan te treffen klein/uitgesloten is.

6.5 Onzekerheden in de klimaatscenario's

Door KNMI is een gedetailleerde analyse gemaakt van de onzekerheden in de klimaatvariabelen gebruikt in deze studie. In die analyse wordt stil gestaan bij de bronnen voor onzekerheden en de relevantie voor het eindresultaat c.q. gebruik in deze studie. Over de resultaten is een apart rapport opgesteld (Bessembinder, 2012).

Op hoofdlijnen is geconcludeerd dat de natuurlijke variabiliteit nog een belangrijke bron van onzekerheid is ten aanzien van het toekomstig klimaat. De verschillende klimaatscenario's omvatten een belangrijk deel van die onzekerheid. De verwachting is dat voor 2050 de onzekerheden ten aanzien van het klimaatstelsel groter zijn dan de onzekerheden ten aanzien van de socio-economische en technologische ontwikkelingen relevant voor de scenario's. Andere onzekerheden zoals de behandeling van de klimaatgegevens voor het maken van regio-specifieke klimaatreeksen wordt als relatief onbelangrijk gezien. Het gebruik van meteorologische gegevens die niet exact van het pilotgebied afkomstig zijn zou ook nog enige onzekerheid kunnen genereren, maar ook dit wordt als relatief onbelangrijk gezien.

6.6 Onzekerheden in de geohydrologische modellering

Onzekerheden in de geohydrologische modellering hangen af van: (a) onzekerheden ten aanzien van de interne modelparameters (modelinvoer) en (b) onzekerheden ten aanzien van het modelconcept. Bij modelinvoer kan nog een onderscheid worden gemaakt in onzekerheden van modelinvoer met een puur fysische basis, en modelinvoer die samenhangt met menselijk handelen (bijvoorbeeld toename in beregening of aanpassing in landgebruik en/of drainage). Dit laatste aspect blijft binnen deze paragraaf buiten beschouwing. Bij het onderdeel “bruikbaarheid” wordt stilgestaan bij onzekerheden in relatie tot modelkoppelingen.

Er kan naar veel aspecten van het hydrologische model worden gekeken, maar de meeste aandacht gaat hier uit naar onzekerheden in de bovenrand van het systeem omdat dit het meest relevant wordt geacht voor de koppeling met gebruiksfuncties als landbouw en natuur, hetgeen onderwerp is van dit NMDC project.

In de onderstaande paragrafen worden onzekerheden per onderdeel zoals interne modelparameters, invoer en modelconcept besproken en wordt stilgestaan bij kalibratie, validatie, gevoeligheidsanalyse en de bruikbaarheid van het model in relatie tot toepassing en informatiebehoefte van belanghebbenden (stakeholders).

Onzekerheid met betrekking tot de modelparameters- en invoer

Bij de geohydrologische modellering zijn een groot aantal interne modelparameters te onderscheiden. Per modelparameter is sprake van een bepaalde onzekerheid:

- Maaiveldhoogten: Informatie over het maaiveld is afkomstig van het Actueel Hoogtebestand Nederland (www.ahn.nl). Het AHN is in ontwikkeling. Het AHN-1 (1996-2003; 1 waarneming per 16 m²) is gebruikt in dit AMIGO. De ruwe data is bewerkt omdat het ten behoeve van een nauwkeurige hydrologische modellering niet gewenst is om niet maaiveld objecten (huizen, viaducten, bodem, etc) in het hoogtebestand te hebben. Dit levert anders een verkeerd beeld van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld en wordt afgeleide modelinvoer zoals bijvoorbeeld bodemhoogten en peilen van waterlopen verkeerd berekend. Tevens bleken er ook gaten te zitten in het bestand. Door een bepaalde filtering is een goede, vlakdekkende kaart gemaakt van het maaiveld. Tevens is via een overlay met de TOP-10 kaart een bestand gemaakt met geschatte waterpeilen voor locaties met water volgens TOP-10 (lijnen: sloten, vlakken: meren, poelen, etc). Volgens het AHN kwaliteitsdocument is bij AHN-1 sprake van een systematische fout van 5 cm en een stochastische fout van 15 cm. Dit betekent dat:
 - minimaal 68,2% van de punten een nauwkeurigheid heeft van 20 cm;
 - minimaal 95,4% van de punten een nauwkeurigheid heeft van 35 cm;
 - minimaal 99,7% van de punten een nauwkeurigheid heeft van 50 cm;
 Voor het AHN-2 is de stochastische fout kleiner en komen de bovenstaande waarden uit op 10, 15 en 20 cm. Het is daarom sterk aan te bevelen om AHN-2 (thans beschikbaar)¹¹ te gaan gebruiken in AMIGO.
- Landgebruik: Naast onzekerheden in de neerslagverdeling en –hoeveelheden en de referentie gewasverdamping is de grondwateraanvulling afhankelijk van het landgebruik in verband met het gebruik van gewasfactoren en de wortelonttrekkingsfunctie (Feddes,1978). De gewasfactoren worden gekoppeld aan ruimtelijke informatie van de Landelijke Grondgebruik databank NL (LGN, www.lgn.nl). AMIGO gebruikt LGN5, maar de meest actuele LGN versie is LGN6. Landgebruik kan veranderen (de verandering tussen verschillende LGN versies voor de huidige situatie is gering) en de vertaling van satellietbeeld naar categorie landgebruik bevat een zekere onnauwkeurigheid. Volgens Hazeu, 2005 is sprake van ~10% onjuiste classificaties voor Gelderland.

¹¹ Inclusief de meest recente filter.

Van het landgebruik wordt per gridcel het voorkomende (dominante) gewas bepaald dat als invoer dient voor de berekening van de potentiële en actuele verdamping. Ook wordt vanuit het landgebruik schattingen gedaan voor wel/geen buisdrainage en percentages van de neerslag die via verhard oppervlak wordt afgevangen en met riolering wordt afgevoerd naar oppervlaktewater.

Maaiveldhoogten en landgebruik zijn eigenlijk indirecte invoergegevens, want het model gebruikt de maaiveldhoogten om gebiedsdekkend voor greppels, sloten en kleine watergangen de drainagebasis te schatten

- Verdampfingsparameters (gewasfactor, interceptiefactor): Om de grondwateraanvulling te bepalen is informatie over neerslag en verdamping nodig. Het KNMI heeft ruimtelijk gedifferentieerde informatie geleverd over de neerslag en referentie gewasverdamping op basis van Makkink (dagsom, per 1000x1000 m cel) voor de periode 1981-2010 (en ook de klimaatsscenario's). Daarnaast heeft het KNMI ruimtelijk niet-gedifferentieerde parameters geleverd voor de berekening van referentie gewasverdamping op basis van Penman-Monteith¹². Verwacht wordt dat met name de verdampingswaarden onzeker zijn (Drooger, 2009). De methode voor bepaling van Eref is van invloed op het resultaat. De relatie tussen Makkink en Penman-Monteith (met gras als referentiegewas) is $Makkink = 0,898 * P-M$ ($R^2=0,927$). Indien met Penman-Monteith gerekend wordt dan dienen ook andere gewasfactoren (FAO) gebruikt te worden. De gewasfactoren voor Makkink zijn overgenomen uit het Cultuurtechnisch Vademecum (Feddes, 1987). De gewasfactoren betreffen empirische waarden die betrekking hebben op de 2^e helft van de twintigste eeuw waarbij geen informatie is verschaft over de bandbreedte (onzekerheid).

Een ander punt is de wijze waarop de gewasgroei is bepaald met WOFOST. Dit is gedaan voor grasland (50% van het areaal in pilotgebied) en aardappelen (2,5% van het pilotgebied). Bij de berekening is de managementfactor uitgezet terwijl die beter op 0,55 had kunnen worden gezet om een realistische waarde voor de yield gap (= verschil tussen potentiële en actuele productie) te verkrijgen. De door water gelimiteerde gewasproductie lijkt aan de hoge kant vergeleken met veldwaarnemingen. Een te hoge gewasproductie zou kunnen leiden tot een onderschatting van de berekende grondwateraanvulling en een overschatting van de grondwaterstands daling. De grootte van dit effect zal nog nader worden uitgezocht, maar de verwachting is dat de doorwerking van een fout in de gewasproductie naar een foute grondwaterstands daling zal meevallen. Bij het maken van verschilkaartjes valt deze fout grotendeels weg wanneer het referentiescenario wordt afgetrokken van een toekomst scenario. Daarnaast geven recente vergelijkbare studies (Capel et al., 2011; Verhagen et al., 2012) waarbij niet van WOFOST gebruik is gemaakt toch vergelijkbare hydrologische effecten voor het W+ 2050 scenario.

- Ligging oppervlaktewateren: Bij AMIGO is de ligging van beken, sloten, greppels en plassen veelal afgeleid uit de TOP-10 vector kaart en niet uit de legger. De reden hiervoor was dat de legger niet alle watergangen bevat en dat de legger ook niet overal goed aansluit bij het AHN. De TOP10 informatie is aangevuld met gegevens afgeleid uit het AHN en met schattingen. Nu is TOP10 niet foutloos maar verwachte onzekerheid is klein.
- Drainagebasis: Dit bestaat uit oppervlaktewaterpeilen, stuwpeilen, en de bodemhoogte van kleine watergangen en greppels. De wateraanvoermogelijkheid, de ruimtelijke ligging, de geometrie en de waterpeilen van het oppervlaktewatersysteem bepalen de uitwisseling tussen het grondwater en het oppervlaktewater. Het grondwatermodel simuleert infiltratie vanuit en drainage naar het oppervlaktewatersysteem *maar niet veranderingen in de waterpeilen*. De waterpeilen (zomer, winter) zijn aangeleverd door het waterschap evenals peilgarantie wat bepalend is voor inlaat van water. Het model beschrijft

1. waterpeil (m NAP);
2. bodemhoogte (m NAP);

¹² KNMI dient aan te geven hoe onzeker die waarden per gridcel zijn.

3. weerstand voor drainagesituatie (in dagen); en

4. de verhouding tussen weerstanden in drainage- en infiltratiesituatie (-).

Deze variabelen worden toegekend aan het totale natte oppervlak per 25x25 m modelcel binnen het grondwatermodel. Het niet bijhouden van het waterpeil is met name een probleem voor het W+ scenario. De drainage/infiltratie is van belang voor de grondwaterstanden. Het belang hiervan is na te gaan via een gevoeligheidsanalyse.

De bodemhoogte van de waterloop is gebaseerd op schattingen vanuit AHN via een specifieke methode, de leggerbestanden, en een kennistabel van Alterra gekoppeld aan TOP10 watergangen.. Bekend is dat in sterk hellende gebieden de AHN methode tot een te lage schatting van bodemdiepte kan leiden. De combinatie van oppervlaktewaterpeil, maaiveld en bodemhoogte bepaalt de ontwateringsdiepte en de mate van infiltratie en drainage. De nauwkeurigheid van deze parameters voor de tertiaire drainage heeft een sterke invloed op de gesimuleerde freatische grondwaterstand.

- Drainage -en infiltratie weerstanden: De intreeweestanden (d) in de drainage- en infiltratiesituatie van de waterloop vormen een maat voor de mate waarin het water de waterloop kan binnendringen, respectievelijk verlaten. De intreeweestand in de drainagesituatie verschilt van die in de infiltratiesituatie en hiermee wordt in AMIGO rekening gehouden. Er is weinig bekend over de intreeweestand. In AMIGO is voor de kleine waterlopen veelal een intreeweestand van 1 dag aangenomen. Een te lage waarde voor de intreeweestand zal een te geringe opbolling in de grondwaterstand opleveren (te lage GHG).
- Oppervlaktewaterpeilen grote watergangen en rivieren: In het oorspronkelijke AMIGO model is een gemiddeld zomer- en winterpeil aangenomen voor de IJssel op basis van getallen uit 1994-2004. Dezelfde constante waarden zijn aangenomen voor de ontbrekende jaren en voor de klimaatscenario's. Met klimaatverandering verwacht men ook een ander peilregime voor de rivieren, waarbij met name W+ sterk verandert (hogere winterafvoer, lagere zomerafvoer). Er bestaan ramingen voor de verandering van het peilregime van de Rijn, maar voor de IJssel kon een dergelijke raming niet vlot worden gevonden. Daarnaast is het peilregime sterk afhankelijk van maatregelen bij Pannerden (waterverdeling) en uitvoering van het project Ruimte voor de Rivier (inrichting rivierengebied). De onzekerheid is daarom niet nader gekwantificeerd, maar heeft mogelijk consequenties voor grondwaterstanden in de directe invloedssfeer van de IJssel.
- Geohydrologische parameters: De opbouw van de ondergrond en de parametrisatie met geohydrologische parameters (kD, c) is gebaseerd op REGIS-II (TNO, 2004). De ruimtelijke resolutie is 100 m x 100 m x laagdikte. Per laag wordt een verdeling van Kh's en Kv's (horizontale en vertical doorlatendheden) toegekend, welke vervolgens met behulp van de ingeschatte laagdiktes worden omgerekend naar kD (transmissiviteit) en c (weerstand) waarden. In totaal zijn 12 watervoerende modellagen onderscheiden in AMIGO en 12 scheidende lagen (inclusief de geohydrologische basis). De oorspronkelijke meetwaarden (circa 16500 boringen) zijn ruimtelijk geïnterpoleerd. Dit betekent dat veel kD en c waarden in feite berusten op een geostatistische inschatting. Daarnaast zijn waarden veranderd tijdens de kalibratie. De Kh en Kv waarden zitten waarschijnlijk per laag te homogeen in het AMIGO model. Een dergelijke conclusie is ook getrokken in paragraaf 5.2.2 op basis van een kwalitatieve vergelijking tussen NL3D en REGIS-II. Het verfijnen van de ondergrondschematisatie zoals binnen het Geotop project, wordt met name van belang geacht om beter kwel en infiltratie als ook grondwaterkwaliteit te kunnen simuleren.
- Bodemfysische parameters: Het gaat hier om waarden relevant voor de onverzadigde zone zoals k-H relaties en dikte wortelzone. De grondwateraanvulling hangt af van de mate waarin de vegetatie het vocht opneemt en teruggeeft aan de atmosfeer via transpiratie. De (in principe variabele) dikte van de wortelzone is afhankelijk van het landgebruik en de bodem. AMIGO hanteert een wortelonttrekkingsfunctie cf. Feddes. De parameters hangen o.a. af van de bodemfysische eenhedenkaart (afgeleide van bodemkaart 1:50.000). De nauwkeurigheid van de bodemkaart 1:50.000 is onderzocht

door Marsman en De Gruijter (1986) in een deel van het zandgebied in Gelderland. De informatie op de bodemkaart over bodemsubgroepen (veldpodzol, beekenkeerd, etc) bleek in ~50% correct te zijn. AMIGO gebruikt de bodemfysische eenhedenkaart wat een aggregatie is van de bodemkaart (van meer dan 6000 eenheden naar 21 eenheden). Door de schaalonnauwkeurigheid is de onzekerheid groter naar mate er uitspraken worden gedaan over een kleiner, specifiek gebied. De onzekerheden werken door naar de verdamping, maar ook naar het berekende vochtgehalte.

- Grondwateronttrekkingen: het gaat hierbij om locatie en diepte van de filters en grootte van het onttrekkingsdebiet. AMIGO bevat onttrekkingsgegevens voor drinkwater uit het provinciale grondwaterregister voor de periode 1989-2004. Het stationaire en niet-stationaire model zijn gekoppeld met gegevens van de periode 1994-2004. Voor het niet stationaire model is van elke onttrekking de mediaan (in m³/dag) per maand bepaald. De onttrekkingsgegevens zijn nog niet geactualiseerd voor 2010 en een prognose van de drinkwateronttrekking in de Baakse beek tot 2050 is ons onbekend. De verwachting is dat de grootte van de onttrekkingen niet veel zal veranderen. De winningen zijn daarom constant gehouden ten opzichte van de huidige situatie. Onzekerheden zijn hier verder niet gekwantificeerd.

Naast grondwaterwinning voor drinkwater is er in het gebied ook sprake van landbouwonttrekkingen in verband met beregening. In het AMIGO model is aangenomen dat beregening start wanneer de pF in de wortelzone boven de 2,5 uitkomt. De ligging van alle putten en hun onttrekkingsdiepte is niet exact bekend. Er wordt gewerkt met een bestand wat door de provincie is aangeleverd. Daar waar geen info beschikbaar was over de onttrekkingsdiepte is aangenomen dat deze zich bevindt in het meest ondiepe watervoerende pakket met een transmissiviteit van > 250 m²/dag. Ten aanzien van het beregeningsareaal is aangenomen dat deze in een cirkel van 200 m rondom een put kan plaatsvinden, daar waar het landgebruik landbouwkundig is. De grootte van de beregening hangt af van het vochttekort, dat dynamisch in het model wordt bepaald. Als maximale waarde voor beregening is 3 mm per dag aangenomen. De berekeningswijze van AMIGO betekent dat een W+ scenario automatisch een grotere beregening gaat opleveren, aangezien een toename in het vochttekort berekend wordt voor dit scenario. Bekend is dat beregening uit grondwater een tijdelijke (forse) daling in de stijghoogte kan opleveren. Dit kan voor natuur juist nadelig zijn in een periode wanneer het al droog is en de waterstanden laag zijn.

- Modelranden: het gaat hier om aannamen over de stroming aan de onderzijde van het geohydrologisch model en de stroming over de randen. De Boomse klei vormt de geohydrologische basis en stroming door deze dikke scheidende laag wordt verondersteld nihil te zijn. Er zijn geen redenen om hier iets anders aan te nemen. Voor de stroming over de zijkant van het model is voor elk scenario: referentieperiode, en de vier klimaatscenario's het hele AMIGO model gedraaid op 250 m resolutie waarbij tweewekelijkse waarden zijn weggeschreven. Deze instationaire stijghoogten per 14 dagen zijn gebruikt als randvoorwaarde voor de zijkant van het gedetailleerde Baakse beek model. Daardoor mag verwacht worden dat ongewenste randeffecten worden vermeden (zie ook paragraaf 5.3.3).

Door de ontwikkelingen in datavoorziening en uitgebreide monitoring zijn veel van de invoerparameters vrij goed in te schatten op basis van metingen (grondwaterstijghoogten, drainagebasis, maaiveldhoogten, doorlatendheden, landgebruik, neerslag) en door (vanuit vergunningen verplichte) registratie van onttrekkingen, ontwateringsbasis, water- en stuwpeilen. Beregeningsgiften en kleine onttrekkingen zijn niet vergunningplichtig en worden daarom (meestal) niet geregistreerd. Wel zijn in diverse provincies schattingen beschikbaar op basis van pompcapaciteiten die bij de melding van beregeningsputten zijn opgegeven, enquêtes of andere informatie. Dit zijn dan vaak vrij ruwe schattingen.

Het AMIGO model is voor zijn interne parametrisatie afhankelijk van zeer veel informatiebronnen, die elk een bandbreedte voor onzekerheid hebben. Niet nagegaan is hoe alle informatiebronnen de resulterende bandbreedte in de modeluitvoer bepalen. Wel is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor een selectie van interne modelparameters. Vooralsnog lijkt de aanname ten aanzien van voornamen modelinvoer zoals de meteorologie (hoe zal het regionale klimaat veranderen?) allesbepalend te zijn voor grondwaterstand, kwel/infiltratie en vochttekort. Relevante AMIGO uitvoer die als invoer dient voor de effectmodellen. Dit blijkt wanneer we de AMIGO uitvoer beschouwen voor de verschillende klimaatscenario's. Het klimaatscenario is uiteindelijk bepalend voor de richting van relevante hydrologische AMIGO uitvoerparameters en daarmee ook richtinggevend voor eventuele maatregelen. De bandbreedte in uitkomsten is groot variërend van "geen verandering tot lichte vernatting" tot "structurele toename in droogte". Een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor AMIGO laat zien dat het model ook gevoelig is voor bepaalde interne modelparameters, maar deze leiden niet tot dergelijke grote veranderingen.

Onzekerheid met betrekking tot het modelconcept

Het modelconcept voor de verzadigde zone kan bestempeld worden als erg betrouwbaar. Dit omdat het concept al decennia lang internationaal (wereldwijd) door kennisinstituten, adviesbureaus en grondwatergebruikers succesvol wordt toegepast. Er is consensus over de theorie (wet van Darcy) en er wordt consequent nationaal en internationaal gewerkt aan verfijningen van het concept (bijvoorbeeld anisotropie, onvolkomen stroming rond winputten, onderscheid tussen infiltratie en drainage weerstanden), tools voor gevoeligheidsanalyses en kalibratie, en modelschillen.

Het modelconcept voor de onverzadigde zone kan ook bestempeld worden als vrij betrouwbaar. Het model MetaSWAP is afgeleid van het SWAP model (www.swap.alterra.nl). De Richards-vergelijking die in SWAP niet-stationair wordt opgelost, is zeer niet-lineair en daardoor rekenintensief. Om dit proces te versnellen is MetaSWAP ontwikkeld. MetaSWAP beschrijft de niet-stationaire stroming van water in de onverzadigde zone en is gebaseerd op rekenexperimenten met een stationaire versie van SWAP. Deze metarelaties zijn afgeleid voor 2.881.788 stationaire SWAP berekeningen die verkregen zijn door combinaties te maken van: bodemprofielen, diktes van wortelzones, grondwaterstanden en fluxen. Resultaten van deze SWAP berekeningen zijn geconverteerd naar een database, die dus bekend staat als de module MetaSWAP. Zoals reeds gemeld in sectie 5.3.1 blijkt uit een vergelijking dat over de gehele linie de uitkomsten van MetaSWAP weinig verschillen van die van het moedermodel SWAP voor situaties met ondiepe grondwaterstanden (Schaap en Dik, 2007). Alleen bij bodems met kleine bergingscapaciteiten is er significant verschil tussen beide modellen, veroorzaakt doordat kleine veranderingen in waterberging een grote invloed hebben op de grondwaterstand. De verschillen in berekende verdamping tussen SWAP en MetaSWAP zijn klein, maar bij dikke wortelzones (100 cm) is de verdamping zoals berekend door MetaSWAP circa 40 mm lager. Aangezien het meta-concept zich vooralsnog heeft beperkt tot 'straight Richards', zijn de volgende speciale proceskenmerken niet gemodelleerd: hysteresis, preferente stroming (zandgronden), bypass flow (kleigronden), en speciale processen die een rol spelen bij infiltratie (Van Walsum & Veldhuizen, 2011).

De vraag is of het modelconcept voldoet in relatie tot de prognose van klimaatverandering. Dit vergt dat rekening wordt gehouden met de effecten van een verandering in neerslagintensiteit en -verdeling, CO₂ en temperatuurstijging, op de plantengroei en de terugkoppelingen tussen atmosfeer – plant – bodem – hydrologie. Zo heeft een toename van de temperatuur en CO₂ diverse gevolgen voor de verdamping.

- Met een verhoogde CO₂ concentratie kunnen planten hun huidmondjes sneller sluiten omdat aan de koolstofbehoefte sneller wordt voldaan, waardoor er minder transpiratie op zal treden. De waterefficiëntie van de vegetatie neemt toe (Witte et al., 2006). Aan de andere kant kan een verhoogde CO₂ concentratie leiden tot een hogere biomassa, meer

bladoppervlak en een daarmee gepaard gaande hogere actuele verdamping (Droogers, 2009). Hogere temperaturen verhogen ook de verdamping. Het CO₂-effect wordt niet standaard meegenomen in AMIGO en het effect is onzeker (zowel afname als toename van de evapotranspiratie is voorstelbaar). Door WOFOST te betrekken in de hydrologische berekeningen is tot op zekere hoogte rekening gehouden met de bovenstaande effecten.

- Extremere neerslag kan betekenen: minder grote interceptie, grotere grondwateraanvulling. Hier houdt het model nog onvoldoende rekening mee.
- Wanneer we te maken krijgen met extreem droge zomers dan kan dit in droge natuurgebieden (grondwaterstanden dieper dan 1 m) gevolgen hebben voor het vegetatiedek. Indien dit leidt tot een verandering van gesloten vegetatiedek naar open vegetatiedek dan heeft dit gevolgen voor de grondwateraanvulling. De evapotranspiratie neemt af en de grondwateraanvulling neemt dan toe. Dit heeft weer gevolgen voor grondwaterstanden en kweldruk. Het model houdt geen rekening met een dergelijke terugkoppeling met de vegetatie. Om enig beeld te krijgen van het belang van een dergelijk effect is dit onderdeel meegenomen in de gevoeligheidsanalyse.

Kalibratie

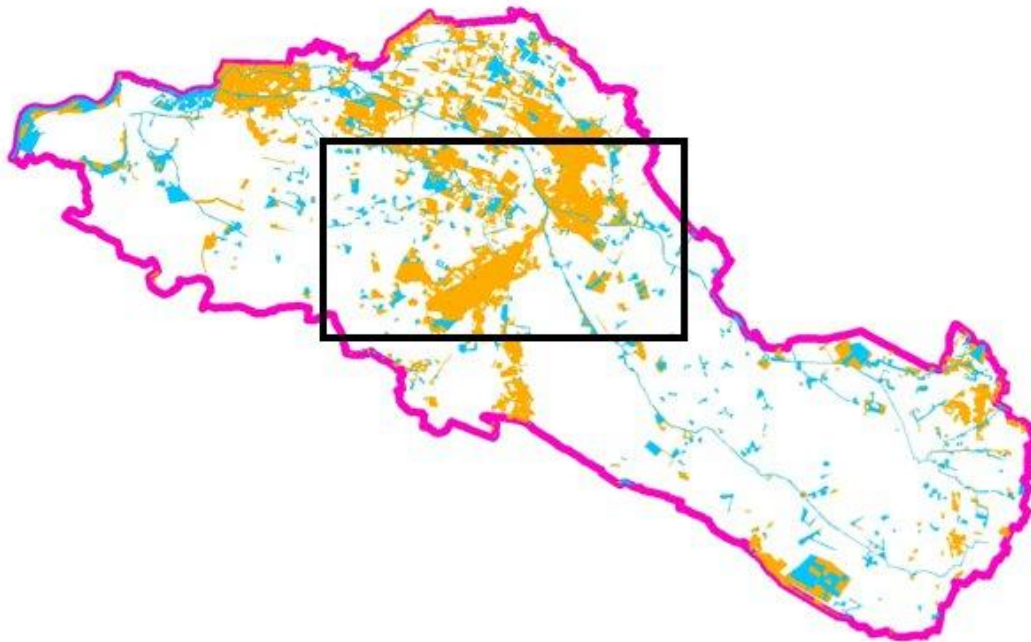
Het AMIGO model is uitgebreid gekalibreerd aan de uitgangssituatie (periode 1994-2004; gemeten stijghoogten en grondwaterstanden). Dit is beschreven in paragraaf 5.3.2. Kalibratie heeft aantoonbaar geleid tot een modelverbetering. De keuze voor te kalibreren parameters is bij geohydrologische modellen vaak hetzelfde, namelijk de doorlatendheden (en weerstanden) van de onderscheiden watervoerende pakketten en scheidende (klei/veen/leem)lagen, en de drainage en infiltratieweerstanden. Overige parameters worden vaak als vast gegeven aangenomen, zoals maaiveldhoogten, landgebruik, onttrekkingsgegevens en ontwateringsniveaus van waterlopen. Dit is vooral omdat dit invoergegevens zijn waar voldoende betrouwbare directe metingen aan ten grondslag liggen, zodat de resulterende onzekerheden relatief klein zijn. Voor doorlatendheden en drainage / infiltratieweerstanden is dat niet het geval. Dit zijn waarden die worden afgeleid uit boorprofielen, empirische relaties en proeven die alleen voor een vrij lokale plaats representatief zijn.

Validatie

Alle metingen zijn gebruikt voor de kalibratie om een zo optimaal mogelijk model te genereren. Er is nog geen aparte validatie uitgevoerd, maar het model is wel op onderdelen gevalideerd (zie bijvoorbeeld Van Walsum & Veldhuizen, 2011). Validatie is voor een eerdere versie van AMIGO uitgevoerd op afvoergegevens van beken. Vaak schiet het model bij een dergelijke validatie tekort omdat er bij afvoer meer processen spelen dan die zijn opgenomen in het model. Het AMIGO model wordt echter wel veel gebruikt door de waterbeheerder en de uitkomsten lijken de veldsituatie veelal goed te simuleren. Dit kan ook worden gezien als een vorm van validatie (confrontatie modeluitkomsten met veldexpertise). Een validatie vergt dat de modeluitkomsten worden vergeleken met een onafhankelijke dataset. In de praktijk worden echter vaak zo veel mogelijk gegevens gebruikt om het model op te kalibreren; deze data zijn dan niet meer beschikbaar voor een validatie.

Gevoeligheidsanalyse

Om de gevoeligheid van relevante modeluitvoer te testen voor onzekere invoer en interne parameters is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Deze is uitgevoerd voor een beperkt gebied binnen de Baakse beek waarbij sprake is van voldoende ruimtelijke variatie (droge/natte gebieden, kwel/infiltratie). Het geselecteerde gebied staat aangegeven in figuur 6.1.



Figuur 6.1 De zwart omlijnde box geeft het gebied aan voor welke gebied de AMIGO gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd. Weergegeven zijn de natuurgebieden. Oranje gebieden zijn relatief droog, en blauwe gebieden relatief nat.

Een deelgebied is geselecteerd puur om pragmatische redenen (kleiner gebied rekent sneller). Er zijn voor dit gebied een zestal testen uitgevoerd, te weten:

1. Effect van onzekerheden in de gewasfactoren. De gewasfactoren zijn daartoe gevarieerd met -10% en +10% van hun originele waarde (min/max waarden).
2. Berekening met WOFOST waarbij wel en niet rekening is gehouden met het effect van CO₂ effect op de transpiratie.
3. Berekening met een ETref afgeleid van Makkink in plaats van Penman-Monteith.
4. Test op het effect van een andere bodemkaart, gedetailleerd versus globaal (1:10.000 versus 1:50.000).
5. Effect van andere schatting van de intreeweerstand. Er zijn daarbij minimale en maximale waarden geschat door aan te nemen dat de weerstand van 1 dag kan variëren met x1/5 en x5.
6. Test op het effect van vervanging van bos door kaal zand. Dit om een beeld te krijgen van het effect van een totaal andere vegetatiebedekking (bijvoorbeeld door droogte en brand) op de hydrologie.

De resultaten zijn samengevat in tabel 6.2.

Tabel 6.2 Resultaat van de gevoeligheidsanalyse voor het onderzochte modelgebied in figuur 6.2. De gele gebieden geven aan welke waarden relatief grote veranderingen laten zien als gevolg van de doorgevoerde testberekening.

nr		GHG (m-mv)	GVG (m-mv)	GLG (m-mv)	Verticale Flux ¹ (mm)	Vochttekort 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	CO ₂ 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>Groff/fijn</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. Kwel is een negatieve waarde.

²) Gemiddeld over het groeiseizoen

De gevoeligheidsanalyse laat overwegend een bescheiden effect zien als gevolg van de verschillende testen.

- Test 1: Zoals verwacht laat de test bij lagere gewasfactoren ook minder ondiepe grondwaterstanden zien, een toename van kwel en afname van het vochttekort.
- Test 2: Het effect van wel of niet rekening houden met het CO₂ op de transpiratie lijkt bijzonder klein. Wel rekening houden met CO₂ levert een iets nattere conditie op vanwege meer transpiratiereductie.
- Test 3: Penman-Monteith leidt tot een hogere ET_{ref} dan Makkink en dit leidt dan ook tot enige verdroging (verlaging grondwaterstanden, afname kwel, toename vochttekort) in het AMIGO model.
- Test 4: Het gebruik van een meer gedetailleerde bodemkaart heeft vrijwel geen effect.
- Test 5: Een verlaging in de intreeweerstand levert een lagere weerstand in de stroming van water naar de waterlopen. Het model is "lek" waardoor er weinig opbolling meer optreedt. Dit leidt tot diepere grondwaterstanden, een afname in de kwel en een toename in het vochttekort. De intreeweerstand vormen een belangrijk kenmerk van het tertiaire ontwateringssysteem wat weer van grote invloed is op het freatisch vlak (het verloop van de grondwaterstanden). De intreeweerstand is erg lastig te bepalen in het veld.
- Test 6: Indien na een forse droogte het bos wordt vervangen door kaal zand dan lijkt dit vooral invloed te hebben op de GLG. Tevens neemt de kwel toe.

Bruikbaarheid

Uit de stakeholderanalyse is naar voren gekomen dat men qua hydrologie vooral geïnteresseerd is in:

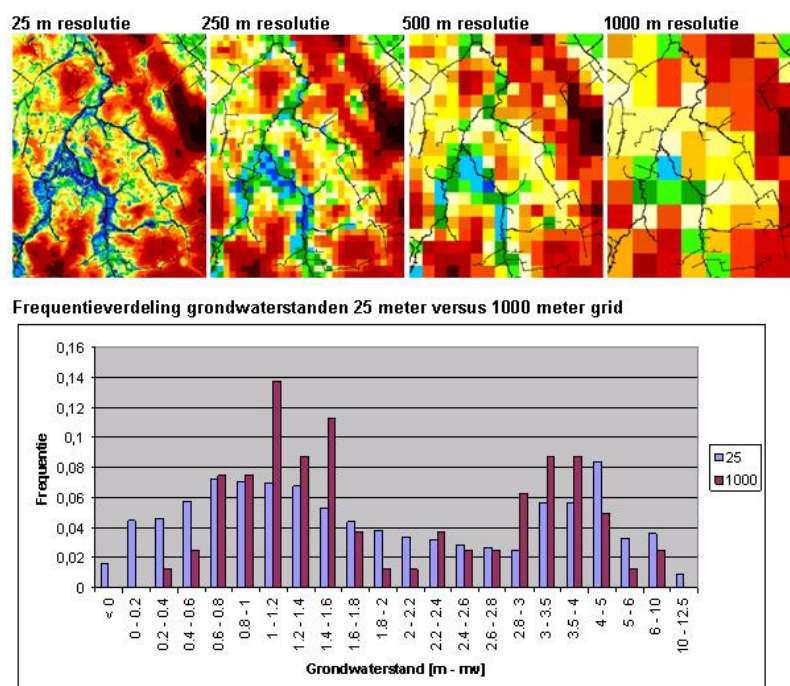
- Uitkomsten van het hydrologische model op perceelsniveau of 25 m grid. Het huidige model voldoet qua ruimtelijk detailniveau.
- Inzicht in effecten van klimaat en maatregelen op de GHG, GVG en GLG, en de kwel. Het model kan hieraan voldoen. Sommige partijen hebben aanvullende eisen zoals inzicht in 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.

In algemene zin kan worden gezegd dat het AMIGO goed bruikbaar is om de hydrologie in beeld te brengen voor de Baakse beek, en relevante invoer levert voor de effectmodellen. Voor natuur zijn echter aanpassingen gewenst om rekening te houden met kwel in de wortelzone en overstromingen langs de beek. Ook dient nadere invulling te worden gegeven aan het realiseren van risicokaarten voor inundatie.

Hoewel AMIGO in staat is om succesvol hydrologie te koppelen aan modellen als WOFOST en SMART2-SUMO2 is bij het koppelen ook van belang dat er aandacht wordt besteed aan ruimtelijke en temporele schaalaspecten. Indien dit niet gebeurt kunnen ongewenste modelartefacten ontstaan in de modelketen die de bruikbaarheid van de resultaten ernstig kunnen verminderen.

- Ruimtelijk schaalniveau: Voor koppeling aan functies en dan met name bij natuur is bij de modellering naast betrouwbaarheid ook voldoende ruimtelijk detail in de hydrologische uitvoer van groot belang. Natuurterreinen zijn namelijk vaak ruimtelijk heterogeen (grote variatie in grondwaterstanden en maaiveld). Een te grof ruimtelijk schaalniveau betekent een afvlakking van de informatie waardoor systematische fouten kunnen ontstaan. De natte en droge standplaatsen verdwijnen dan uit het model. Voor de droge standplaatsen is dat niet zo bezwaarlijk, maar wel voor de natte standplaatsen waar vaak bijzondere natuurwaarden aan zijn verbonden. In figuur 6.2 is dit effect gekwantificeerd voor de Drentsche Aa.



Figuur 6.2 Effect van ruimtelijke resolutie op de modeluitvoer en de consequenties voor koppeling aan effectmodellen. Er treedt een significant verlies in gemodelleerde natte en vochtige standplaatsen op wanneer de ruimtelijke resolutie afneemt.

- Temporeel schaalniveau: AMIGO kan op dagbasis relevante uitvoer leveren. Dat is voor grondwaterstanden ruim voldoende. Voor een koppeling met SMART2-SUMO2 zijn deze waarden geaggregeerd tot jaargemiddelden. Hierdoor treedt een significant informatieverlies op, aangezien de juist condities in het voorjaar en de zomerperiode erg bepalend zijn voor relevante ecologische processen (groeiomstandigheden standplaats). Indien we ook correct hydrologische processen in beekdalen willen beschrijven zoals overstroming dan kan een tijdstap van dagen nog te groot zijn. Voor het modelleren van overstroming met bijvoorbeeld een 2D dynamisch oppervlaktewatermodel zoals SOBEK moet dan eerder gedacht worden uren als tijdstap.

6.7 Onzekerheden in modellering gewasproductie

De modelsimulatie van de gewasopbrengsten (gras en aardappels) zijn afhankelijk van tal van factoren, zoals de temperatuur, zonnestraling, CO₂-gehalten, de gewaseigenschappen om CO₂ via fotosynthese om te zetten naar biomassa, de vochthuishouding van de wortelzone en daaraan ten grondslag liggende geohydrologische en meteorologische gegevens en rekenparameters, de zaaidatum, de frequentie van het maaien en de diverse stressfactoren die met een managementfactor representatief zijn voor beperkte beschikbaarheid van nutriënten en het voorkomen van ziekten en plagen. Voor al deze factoren worden inputparameters in het modelconcept van MetaSWAP en WOFOST gebruikt. In deze studie is het accent gelegd om de 2 modellen aan elkaar te koppelen en te integreren in de modelstructuur van MetaSWAP. Deze koppeling en integratie lijkt goed te werken, maar zal voor verdere ontwikkeling nog beter moeten worden gevalideerd en getest. Het valt buiten de scope van deze studie om op systematische wijze de gevoeligheden en daarmee de onzekerheden van al deze inputparameters te analyseren. In het navolgende wordt daarom alleen met expert-judgement aangegeven wat de naar verwachting belangrijke onzekerheden zijn.

Parameter en input onzekerheid

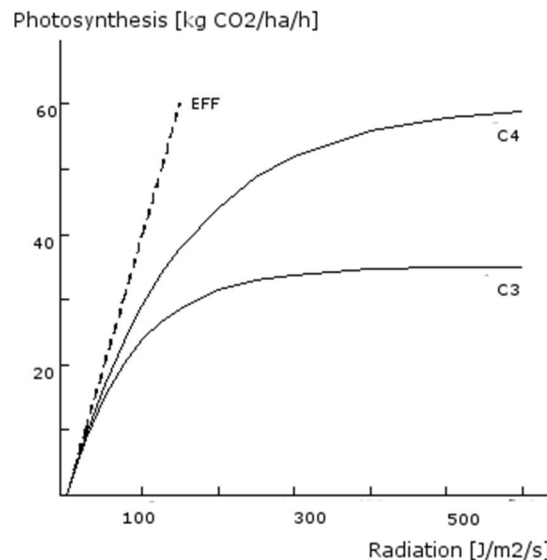
Het kwantificeren van onzekerheden bij modellering van gewasgroei vereist expertise van gewasgroei en hydrologie. De koppeling van een complex hydrologisch model als MetaSWAP aan WOFOST is nog niet vaak uitgevoerd en bevindt zich nog in een experimenteel stadium. Vanwege de complexiteit en innovatieve karakter verdient het aanbeveling om bestaande datasets te gebruiken die voor de lokale klimaatomstandigheden zijn getoetst. Dat is binnen dit NMDC project zoveel mogelijk gedaan. Er is voor grasland gebruik gemaakt van datasets die door Kroes en Supit (2011) zijn getoetst op veldschaal en vervolgens toegepast en globaal getoetst op nationale schaal. Voor andere gewassen is de gecombineerde (hydrologie-gewasgroei) toets in een ontwikkelfase en beperkt getoetst. De onzekerheden zijn geminimaliseerd door gebruik te maken van bestaande datasets, m.n. Van Heemst et al (1988). Voor grasland zijn de parameterwaarden gerapporteerd in Kroes et al (2009).

Hoewel de koppeling SWAP-WOFOST voor slechts een beperkt aantal proefpercelen is getoetst, is duidelijk geworden dat de volgende factoren belangrijke onzekerheden zijn die sterk doorwerken in het rekenresultaat.

- CO₂-vastlegging via $A_{\max}$
- management factor
- aantal maaisnedes grasland.

De toename van het CO₂-gehalte in de atmosfeer heeft een direct effect op fotosynthese, groei en verdamping van C3 (bijvoorbeeld grasland en aardappelen) en C4 (bijvoorbeeld mais) gewassen. Het fotosynthese proces verloopt verschillend bij C3 en C4 gewassen (zie

figuur 6.3). De aanpassingen voor grasland zijn gerapporteerd door Kroes en Supit (2011). Voor grasland en aardappelen zijn parameterwijzigingen gehanteerd die zijn gerapporteerd door Wolf et al (2010).



Figuur 6.3 Photosynthese – radiatie respons curve individuele bladeren voor een C₃ en C₄-gewas met een maximum van 40 en 60 kg ha⁻¹ h⁻¹, respectievelijk en beiden met Eff = 0.45 kg ha⁻¹ h⁻¹ / J m⁻² s⁻¹. Gemeten bij 340 ppm CO₂ en het maximum bij optimale temperatuur en Eff bij een lage temperatuur (data from Penning de Vries et al., 1989).

In SWAP- en MetaSWAP WOFOST worden directe effecten van toenemende CO₂-gehaltes in de atmosfeer verdisconteerd in de CO₂ assimilatie en groei via de maximum en initiële helling van de CO₂ assimilatie-light response en een kleine afname in de transpiratie snelheid. Omdat de toename van de CO₂-concentraties in de atmosfeer al vrij onzeker zijn voor de lange toekomstvoorspellingen, zullen de onzekerheden in de parameters die de helling en maximum CO₂-vastlegging in WOFOST bepalen sterk doorwerken in de berekende opbrengsten.

De management factor is representatief voor de beperking van de groei door het optreden van beperkte beschikbaarheid van nutriënten, schade door ziektes en het optreden van plagen. Uit de beperkte toetsing voor grasland is deze factor gekalibreerd op 0,55. De onzekerheid van deze factor is waarschijnlijk groot en werkt lineair door in de berekende opbrengsten. Voor aardappels en andere gewassen is deze factor nog niet goed gekalibreerd.

In de Nederlandse situatie is vaak sprake van een 5-tal maaisnedes per seizoen. Onzekerheid daarin werkt derhalve door in de orde van 1/5 (iets minder) in de berekend opbrengst. In het model kan een vast aantal snedes worden opgelegd, maar het aantal snedes kan ook afhankelijk worden gesteld van een maximale hoogte van het gras.

Modelconcept onzekerheid

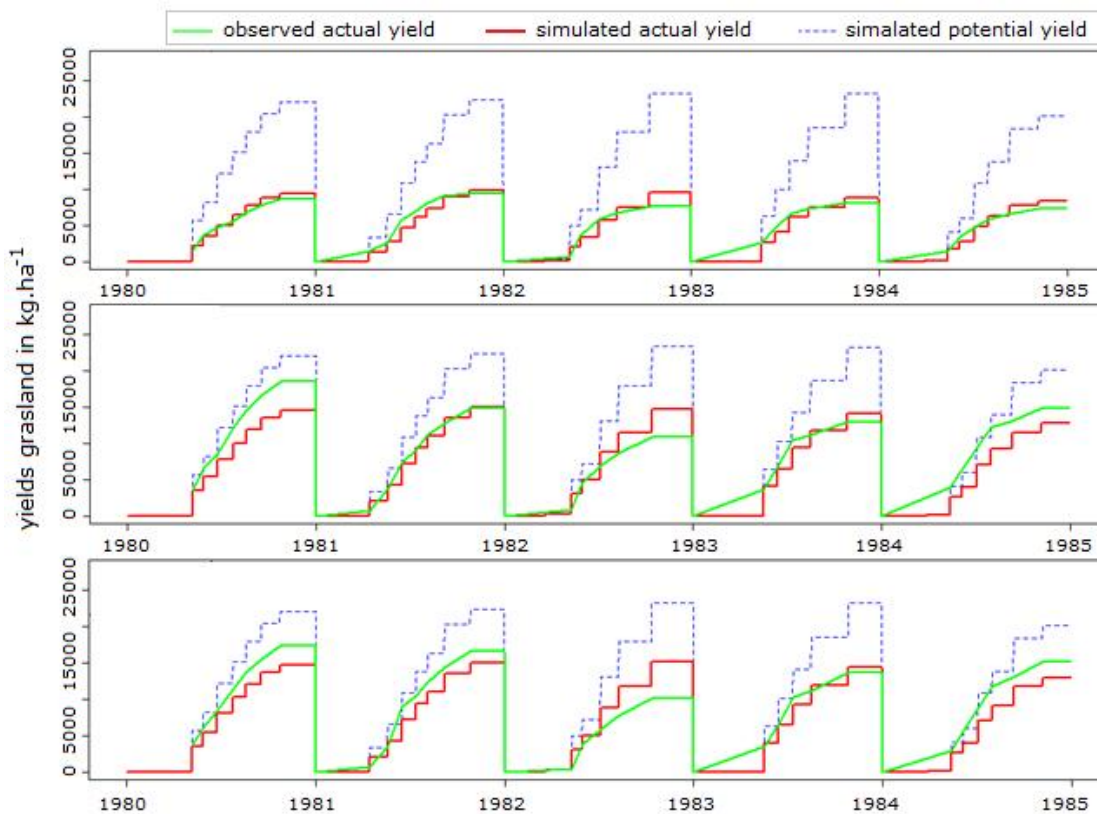
Beide modellen, MetaSWAP en WoFOST, zijn beproefde en geaccepteerde modellen. SWAP, waar MetaSWAP uit wordt afgeleid en WOFOST worden zeer breed binnen en buiten Europa toegepast. De onzekerheden in de combinatie met WOFOST zijn onder meer de wijze waarop de 3 verdampingstermen en diepte van de beworteling worden teruggekoppeld met WOFOST.

Voorgenomen ontwikkelingen in het modelconcept is bijvoorbeeld het inbouwen van zuurstofstress in SWAP omdat daarmee mogelijk de natschade van gewassen beter kan

worden gesimuleerd. Een ander voorbeeld is uitbreiding van het modelconcept SWAP-WOFOST met een module voor de beschikbaarheid van nutriënten, omdat duidelijk is geworden dat nutriënten een belangrijke limitatie kunnen geven in de gewasgroei.

Kalibratie

Voor beide modellen geldt dat de default modelparameters zijn gehanteerd zoals die zijn bepaald in de kalibratie van proeflocaties op perceelniveau van gras en aardappels met SWAP-WOFOST. Voor deze kalibratie zijn de simulaties getoetst op percelen waar zowel de freatische grondwaterstanden als de gewasopbrengsten in het verloop van het seizoen zijn gemeten over verschillende jaren (en dus verschillende weersomstandigheden) én voor verschillende niveaus van bemesting. De resultaten van deze toetsing voor percelen met gras te Ruurlo (die liggen in de Baakse Beek) zijn weergegeven in figuur 6.4.

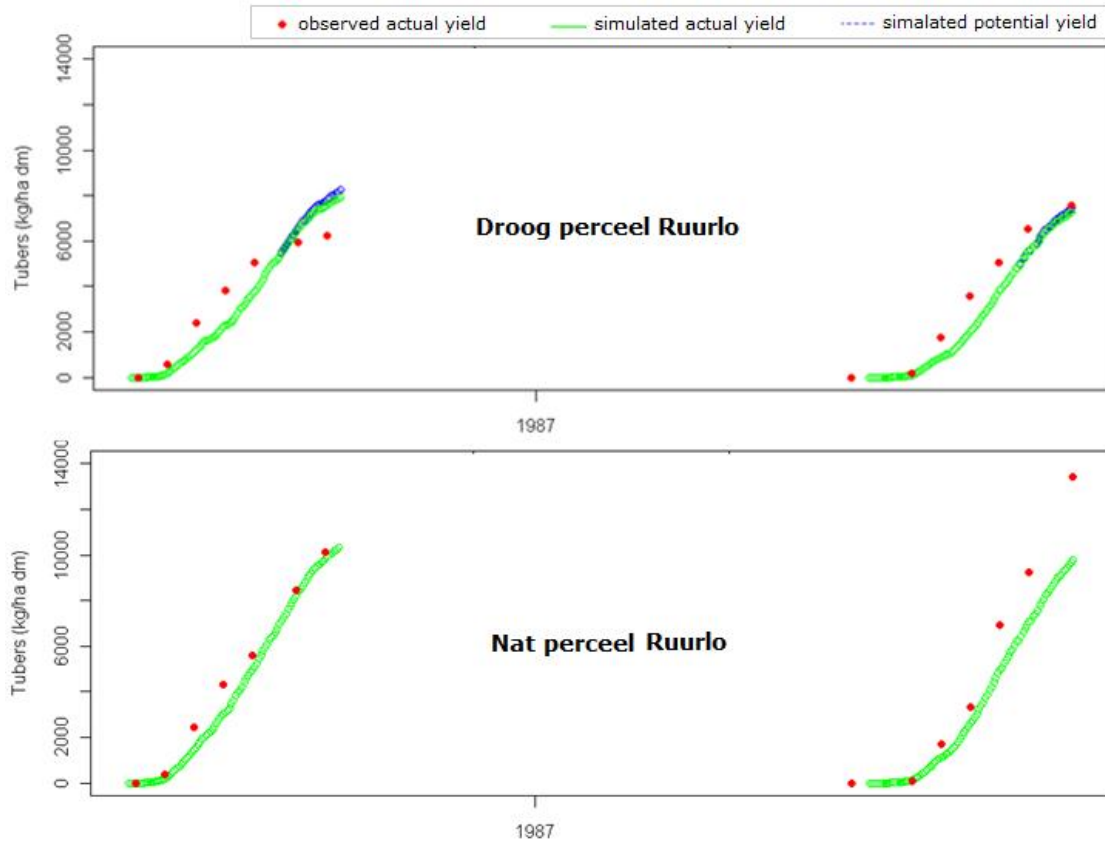


Figuur 6.4 Toetsing opbrengst grasland met SWAP-WOFOST op percelen te ruurlo met een lage bemesting (boven), een hoge bemesting (midden) en zeer hoge bemesting (beneden) (Kroes en Supit, 2011).

Uit deze kalibratie blijkt dat de berekende opbrengsten over de gehele periode bezien en gelet op de verschillende bemestingsniveaus goed overeen komen met de gemeten opbrengsten. Opgemerkt moet worden dat de verschillen in gemeten opbrengsten tussen de jaren niet zo geprononceerd worden gesimuleerd (de rode lijnen blijven dan teveel op hetzelfde niveau). Onderzocht moet nog worden wat hiervan de oorzaak is.

SWAP-WOFOST is op perceel niveau ook getoetst voor enkele percelen in Schotland waar aardappels zijn geteeld (en de opbrengst gemeten). Het resultaat van deze toetsing is weergegeven in figuur 6.5. Ook voor aardappels kan geconcludeerd worden dat de berekende opbrengsten vrij goed overeenkomen met de gemeten opbrengsten. De management factor is voor deze calibratie getuned op 75 %. Deze management factor kan echter niet zomaar toegepast worden op percelen in Ruurlo omdat deze is getuned op

aardappelpercelen in Schotland en het aantal percelen waarop is getoetst nog erg summier is.



Figuur 6.5 Toetsing opbrengst aardappels (tubers) met SWAP-WOFOST op perceelniveau voor den droog en nat perceel (Kroes et al, 2012 (in prep)).

Deze management factor is in de MetaSWAP-WOFOST berekening niet 'aangezet', maar kan voor een globale toetsing op regionaal naderhand vermenigvuldigd met de water-gelimiteerde opbrengsten. Op deze wijze zijn de resultaten globaal getoetst op regionaal niveau aan de geregistreerde opbrengsten voor aardappels en de berekende en van het BIN-afgeleide gegevens over de opbrengsten van gras.

Gevoeligheidsanalyse

Een gevoeligheidsanalyse is voor zowel SWAP-WOFOST als MetaSWAP-WOFOST nog niet uitgevoerd. Het verdient aanbeveling om hier de komende jaren aan te werken om zo de berekeningen bruikbaar te maken voor beleidstoepassingen. In de verdere ontwikkeling van de koppeling (Meta)SWAP-WOFOST zal naast zo'n systematische analyse van gevoeligheden de validatie uitgebreid moeten worden op verschillende schaalniveaus, meerdere gewassen en op perceelniveau voor verschillende omstandigheden (bodemtypen, hydrologie, bemesting e.d.).

Bruikbaarheid

De stakeholders hebben sterke behoefte aan betrouwbaar inzicht in de effecten van ingrepen in de waterhuishouding en invloeden van klimaatverandering. In de terugkoppeling met de stakeholders is vooral de behoefte naar voren gekomen om meer greep in informatie te hebben over hoe valide de berekende actuele opbrengsten zijn. Met name wil de provincie en het waterschap zicht hebben op de gronden waar in de huidige situatie significante reductie schade) optreedt door droogte en hoe dit volgens de klimaatscenario's zal veranderen. Ook hebben zij behoefte aan inzicht in de mogelijkheden voor adaptatie, met name of en hoe

gebieden rondom de intensieve landbouwkernen door maatregelen meer water kunnen vasthouden om daarmee in tijden van droogte het landbouwgebied van water te voorzien en hoe omliggende natuur extra water van het landbouwgebied kan bergen in tijden met extreme neerslag.

Nadrukkelijk moet worden bedacht dat de koppeling MetaSWAP-WOFOST weliswaar technisch gerealiseerd is, maar dat nog nauwelijks onderzoek is gedaan naar de validatie en de onzekerheden. Voor het gebruikte modelinstrumentarium geeft de 'beoordelingslijst modelcomplexiteit EMC v. 1.0' hiertoe bruikbare richtlijnen (Van Voorn et al 2011). Wat de rekenresultaten waard zijn kan nu vooral voor aardappels niet goed worden aangegeven en voor grasland zouden de resultaten nader moeten worden bestudeerd. Hierdoor is een toepassing van de resultaten voor beleid (waterbeheer, landbouw, ruimtelijke planvorming) nog niet verantwoord.

6.8 Onzekerheden in de modellering van natuurwaarden

Er zijn in het verleden verschillende onzekerheidsanalyses uitgevoerd met SMART2 (Kros et al, 1999) en de keten SMART2-SUMO-NTM3 (Schouwenberg et al., 2000; Wamelink et al., 2011).

Parameteronzekerheid

Voor SMART2-SUMO2 zijn interne modelparameters gekoppeld aan bodemtype (bodemchemische en fysische eigenschappen) en of vegetatietype (o.a. groeisnelheid, nutriëntengehaltes, mineralisatiesnelheid). De parameteronzekerheid is in eerder genoemde onderzoeken bepaald op basis van metingen en literatuuronderzoek en is daar terug te vinden.

Invoer onzekerheid

Bij SMART2-SUMO2 bestaat invoer onzekerheid uit ruimtelijke input zoals depositie, kwelkwaliteit en -kwantiteit, bodemtype, vegetatietype, beheer. Het bodemtype en vegetatietype zijn in deze studie voor de Baakse Beek afgeleid van de 1:50000 bodemkaart en LGN6 in combinatie met de vierde bosstatistiek. Er is niet precies onderzocht wat de onzekerheid is in de bodem en de vegetatiekaarten. Dan zou in het veld gecheckt moeten worden of het bodem- en vegetatietype overeenkomt met wat op de kaart staat voor de bezochte locatie. Wel is de 1:10.000 bodemkaart vergeleken met de 1:50.000 en die levert nauwelijks een ander beeld op. De atmosferische depositie is afkomstig van de site van het PBL (grootschalige concentratiekaarten Nederland, <http://geodata.rivm.nl/gcn/>). De depositie wordt gegeven op 1 x 1 km wat veel grover is dan de 25x25 m waarop deze studie van de Baakse Beek is uitgevoerd. Het RIVM meldt een onzekerheid in depositie van 50-100% voor hun 1 km gridkaarten. Voor een 25 m grid is de onzekerheid nog groter (~300-400%) vanwege ruwheidsovergangen en bosrandeffect (Draaijers, 1993). Aangezien de depositie van grote invloed is op de pH en nitraatconcentratie (Mol-Dijkstra et al., 2006) is dit een belangrijke bron van onzekerheid, maar in deze studie is die niet nader gekwantificeerd.

Uit ervaring is bekend dat de kwelkwaliteit (dit is de kwaliteit van het water dat via capillaire opstijging de wortelzone bereikt) van grote invloed is op de pH. Helaas is weinig bekend over de kwaliteit van dit water. Er wordt nu gebruik gemaakt van de oude LKN grondwaterrelatiekaart (Klijn, 1989).

Beheer is van invloed op de vegetatie-ontwikkeling en daarmee ook op de nutriënten-beschikbaarheid in de bodem. We hebben in deze studie niet kunnen achterhalen welk beheer op welke plek gevoerd wordt. Bovendien kan het beheer in de toekomst veranderen. In deze studie hebben we niet gekwantificeerd wat het effect van beheer is. In deze studie is dat beheer aangenomen dat leidt tot de instandhouding van het huidige vegetatietype. Dus, grasland wordt begraaasd en/of gemaaid, heide wordt geplagd in hogere of lagere frequentie

in combinatie met begrazing en bos wordt in meer of mindere mate gedund. De onzekerheidsanalyse van SUMO2 liet zien dat veranderingen in het beheer of een foute inschatting van het beheer zeer grote effecten heeft op de uitkomsten (Wamelink 2008). Het zal geen verbazing wekken dat het verschil in bijvoorbeeld heide tussen wel of niet plaggen immens groot is en alle uitkomsten sterk zal beïnvloeden

Modelconcept onzekerheid

SMART2-SUMO:

- SMART2 beschrijft de bodem als een enkele laag en op jaarbasis. Binnen die laag wordt de bodemchemie dus (vertikaal) homogeen en door het jaar homogeen (bijvoorbeeld: geen seizoensvariatie) verondersteld (De Vries et al., 1989).
- Tussen AMIGO en SMART2-SUMO2 zit een voor het koppelen van de modellen noodzakelijke extra aggregatiestap waarin per dag de 'mineralisatie reductie factor' wordt berekend voor de invloed van vocht op de mineralisatie van nutriënten uit humus. Per gridcel worden deze daggegevens geaggregeerd tot een jaargetal voor de mineralisatie reductie factor.
- De terugkoppeling van de vegetatie effecten in SUMO2 naar de hydrologie van AMIGO is buiten beschouwing gelaten.
- Seizoenseffecten op de vegetatie zoals via de verlenging van het groeiseizoen bij een opwarming van het klimaat zijn niet expliciet meegenomen in SUMO2. Wel wordt de maximale groei hoger bij een hogere temperatuur.
- Doordat SMART2-SUMO2 op jaarbasis rekent reageert de vegetatie in SUMO2 alleen op jaargemiddelde potentiële en actuele verdamping. Als er binnen een jaar grote verschillen in hydrologie zouden zijn zou dat effecten op de vegetatie kunnen hebben die het model nu niet meeneemt of slechts via een sterk uitgedempt (jaargemiddeld) signaal meeneemt.
- Mogelijke weer gerelateerde effecten op de vegetatie zoals windworp, hagelschade, vorstschade, brand zijn niet meegenomen in het model (brand zit er wel in als beheersmaatregel maar niet als natuurverschijnsel). Ook het effect van plagen door insecten mede in relatie tot klimaatverandering wordt niet meegenomen door het model.

NTM:

- De GVG is gedefinieerd als het gemiddelde van de grondwaterstanden op 16 maart, 1 en 14 april. De GVG als klimaatrobuuste parameter voor de vochttoestand staat ter discussie. Door temperatuurstijging is sprake van een eerdere start van het groeiseizoen en tevens gaat het om een empirische relatie tussen grondwaterstand en plantensoorten afgeleid voor een klimaat in de vorige eeuw.
- Het mogelijke effect van verschuivende klimaatzones op de uitkomsten van het natuurwaarderingsmodel is niet meegenomen.
- Bij de vertaling naar natuurkwaliteit is aangenomen dat NO₃- gehalte een goede proxy (de best beschikbare) is voor het Ellenberg-indicatiegetal voor nutriëntenrijkdom (N-Ellenberg).
- Bij de vertaling naar natuurkwaliteit (P2E) is aangenomen dat de range van de laagste tot de hoogste pH die voorkomt in de Baakse Beek simulatieresultaten lineair geschaald kan worden naar de negenpunts ordinale Ellenberg indicatiegetallenschaal voor Zuurgraad (R-Ellenberg). Daarbij vallen de laagst voorkomende pH samen met indicatiewaarde 1 (zuur) en de hoogst voorkomende pH met indicatiewaarde 9 (basisch).
- Mogelijke schade aan de vegetatie door droogtestress is niet meegenomen - met name geldt dit voor droogtestress door een droge periode binnen een jaar dat gemiddeld niet uitzonderlijk droog is.

Kalibratie

Het model is voor deze studie niet apart gekalibreerd, omdat er in het Baakse Beek gebied geen metingen beschikbaar waren waarmee we SMART2-SUMO2 konden kalibreren. Voor

ationale toepassingen wordt een standaardset aan bodem- en vegetatieafhankelijke parameters aangehouden en die hebben we hier ook toegepast.

Validatie

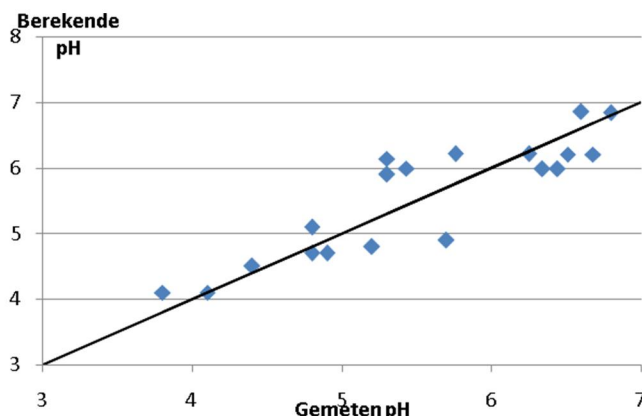
SMART2: N-mineralisatie en pH

Voor de validatie van N-mineralisatie grijpen we terug op eerdere studies. Voorbeelden van locaties waar mineralisatie is gemeten en waar SMART2(-SUMO) is toegepast zijn Risdalsheia met een heideachtige vegetatie waar kasexperimenten zijn uitgevoerd met klimaatverandering (Mol-Dijkstra & Kros, 2001) en een successie van kale grond naar bos op het Hulshorsterzand (Wamelink et al., 2001) (zie Tabel 6.3). Uit deze toepassingen blijkt dat SMART2 redelijk goed in staat is de N-mineralisatie te voorspellen. Voorwaarde is dat er voldoende bekend moet zijn over de vegetatieontwikkeling op de te simuleren locatie. Ook een niet-gepubliceerde toepassing van SMART2-SUMO2 op een grasland met een droog en een nat deel op de Veenkampen nabij Wageningen laat zien dat de gesimuleerde N-balanstermen goed overeenkomen met de metingen.

Tabel 6.3 Gemeten en met SMART2 gesimuleerde N mineralisatie (kg N/ha/j). Risdalsheia: twee kasexperimenten (EGIL en KIM) voor (pre) en na (post) klimaatverandering; Hulshorsterzand: drie successiestadia, 10, 43 en 121 jaar oud; Veenkampentwee meetjaren in een nat en droog perceel. De toepassingen op Hulshorsterzand en de Veenkampen zijn inclusief SUMO.

Locatie	Gemeten	Gesimuleerd
Risdalsheia		
EGIL pre	245	269
post	271	312
KIM pre	147	225
post	201	256
Hulshorsterzand		
10 jaar	19 ± 5	24.5
43 jaar	172 ± 68	93
121 jaar	184 ± 101	136
Veenkampen		
1989 Droog	256	163
Nat	104	113
1995 Droog	235	179
Nat	104	125

Voor dezelfde locaties is ook de berekende pH uitgezet tegen de gemeten pH (figuur 6.6). In grote lijnen komen de berekende en gemeten pH waarden vrij goed overeen.

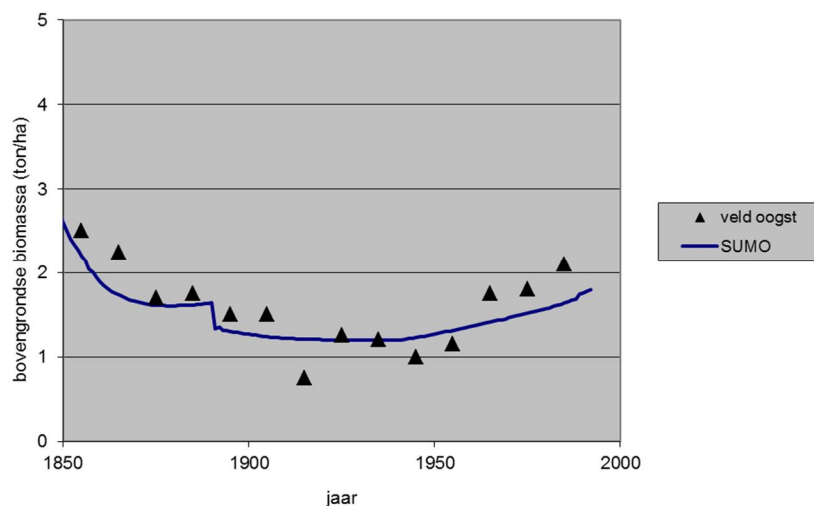


Figuur 6.6 Berekende pH uitgezet tegen de gemeten pH op het Hulshorsterzand en Sellingen.

SUMO: biomassa

SUMO2 is binnen verschillende projecten gevalideerd (zie o.a. Wamelink 2007, Wamelink et al. 2009). Hier worden drie voorbeelden gegeven, een voor droog grasland, een voor heide en een voor loofbos. In alle gevallen is SUMO2 gedraaid in combinatie met SMART2.

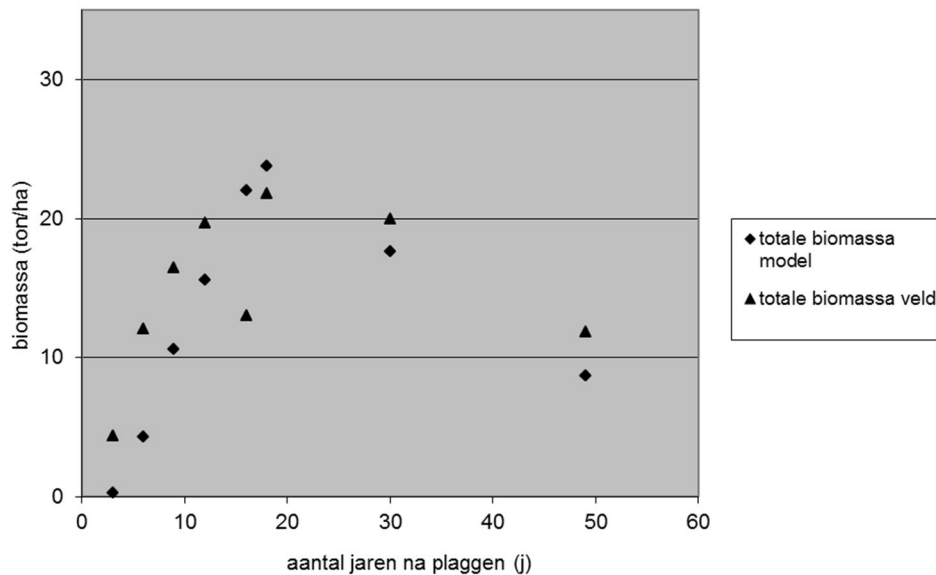
Het grasland waar SUMO2 o.a. voor gevalideerd is betreft het beroemde Parkgrass experiment in Rothamsted. De gemiddelde grondwaterstand is ligt hier circa 1,5 m beneden maaiveld. Sinds de negentiende eeuw wordt hier verschillend beheer toegepast op een aantal proefvlakken. SUMO2 is gedraaid vanaf de tijd dat het gebied nog bemest werd en invloeden van latere tijdelijke begrazing, maaien en stikstofdepositie zijn in de modelrun meegenomen. SUMO2 bleek goed in staat de geoogste biomassa te kunnen modeleren, al blijft aan het eind van de periode de opbrengstschatting wat achter (figuur 6.7). Dit zou een mogelijk effect van klimaatverandering kunnen zijn, dat in deze run niet is meegenomen.



Figuur 6.7 Validatie van SMART2- SUMO2 voor het Parkgrass experiment in Rothamsted (UK). Gegeven wordt de geoogste biomassa (gemiddelde per 10 jaar en de gemodelleerde opbrengst).

De heide waarop SUMO2 o.a. is gevalideerd is de Strabrechtse heide. De bovengrondse biomassa hoeveelheid is daar in het veld gemeten op plekken die op verschillende tijdstippen in het verleden waren geplagd. Effecten van beheer en depositie zijn in deze run meegenomen en weer in combinatie met SMART2 gedraaid. Voor sommige stadia wordt de biomassa overschat, vooral voor de 16 jaar oude heide (figuur 6.8). Voor de rest zijn de uitkomsten bevredigend.

Tot slot wordt hier een voorbeeld van de validatie van SMART2-SUMO2 gegeven voor een chronosequentie rond Sellingen voor bos. De biomassa's worden redelijk goed voorspeld (tabel 6.4). Voor de bomen is er wel voor sommige leeftijden een onderschatting of overschatting van de biomassa, wat kan liggen aan verschillen in gemodelleerd standaard bosbeheer en de praktijk van het bosbeheer.



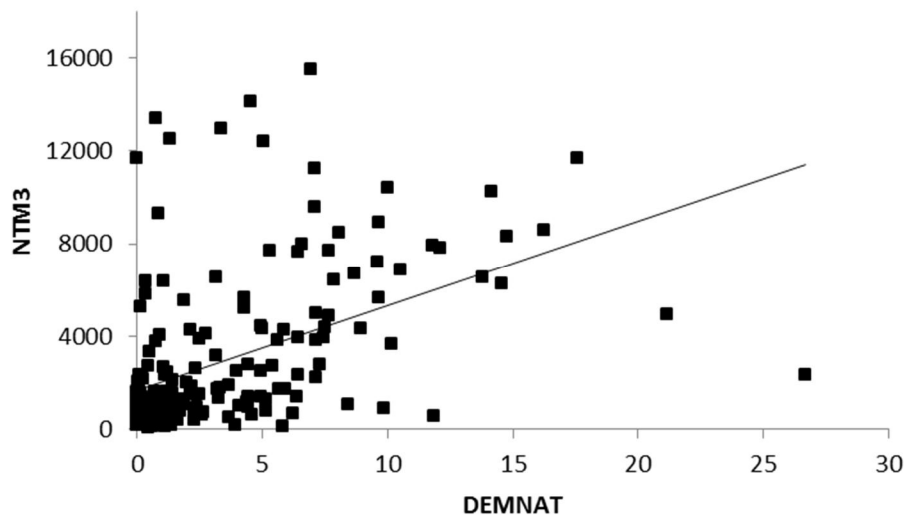
Figuur 6.8 Validatie van SMART2-SUMO2 voor de Strabrechtse heide. Gegeven wordt de biomassa voor locaties die een verschillend aantal jaren geleden zijn geplagd.

Tabel 6.4 Validatie van gesimuleerde drooggewichten van de biomassa (in ton/ha) voor de chronosequentie Sellingen met SMART2-SUMO2.

leeftijd		kruiden (s.e.)	dwergstruik (s.e.)	struiken (s.e.)	pionier boom (s.e.)	climax boom (s.e.)
14	Gemeten	0.81 (0.11)	0	0	0.02 (0.03)	28.13 (2.35)
	SUMO	0.79	0.11	0.64	0.64	26.50
25	Gemeten	0.37 (0.16)	0	0	0.09 (0.09)	39.03 (0.72)
	SUMO	0.01	0.04	0.59	0.70	47.23
32	gemeten	0.14 (0.08)	0	0	0	66.96 (0.61)
	SUMO	0.01	0.02	0.58	0.73	48.95
89	gemeten	0.77	0	0	4.69	111.36
	SUMO	0.01	0.01	0.44	0.29	98.33

NTM3: Vergelijking met FLORBASE gegevens

De resultaten van NTM3 voor het jaar 2000 (gemiddelde 1995-2004) zijn vergeleken met natuurwaarden gebaseerd op florawaarnemingen (FLORBASE-2N) en de DEMNAT-3 natuurwaarderingmethode. Omdat de berekeningen van de modelketen zijn uitgevoerd voor 25*25m grids, maar de FLORBASE gegevens beschikbaar zijn voor 1*1 km grids, zijn de NTM3 uitkomsten opgeschaald naar 1*1 km. Daarvoor is de som van alle NTM-waarde binnen een km-gridcel genomen. NTM3 uitkomsten hebben alleen betrekking op natuurgebieden. Vervolgens zijn de DEMNAT-natuurwaarden vergeleken met de NTM3 voorspellingen door middel van een lineaire regressie. De vergelijking heeft betrekking op natte en vochtige ecosystemen en levert een statistisch significante relatie ($p < 0.001$, $n = 179$) op met een verklaarde variantie van ruim 20% (figuur 6.9). De figuur geeft aan dat de variantie behoorlijk is met hoge waarden in DEMNAT met lage waarden in NTM3, en omgekeerd.



Figuur 6.9 Regressie tussen DEMNAT resultaten en de som van de NTM3 voorspellingen per 1*1 km grid voor natte natuurgebieden in het Baakse Beek gebied.

Nader onderzoek is wenselijk naar hoe NTM3 zich verhoudt ten opzichte van gemeten natuurwaarden voor zowel droge als natte ecosystemen. Zo bevat FLORBASE plantwaarnemingen zowel binnen als buiten natuurgebieden wat als invoer is gebruikt voor de *actuele* natuurwaardebepaling per kilometerhok, terwijl NTM3 *potentiële* natuurwaarden heeft berekend voor alleen die gebieden binnen een kilometerhok met een hoofdfunctie natuur, conform de begrenzing (2011) in het natuurbeheerplan van de Provincie (zie figuur 4.3).

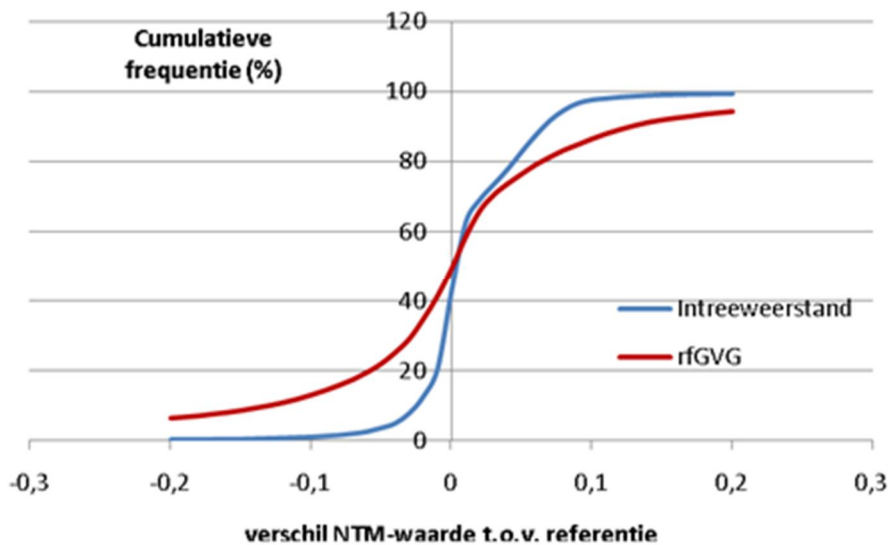
Gevoeligheidsanalyse

In deze studie voor het Baakse Beek gebied is een zeer beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met SMART2-SUMO2-NTM3. Er zijn twee alternatieven doorerekend t.o.v. de referentie voor één deelgebied, nl. subgebied 5. Deze alternatieven zijn:

1. Effect van andere intreeweerstand (parameter van AMIGO) op SMART2-SUMO2-NTM3
2. Effect van een andere reductiefunctie voor mineralisatie (rfGVG) door uit te gaan van GVG in plaats van bodemvochtgehalte.

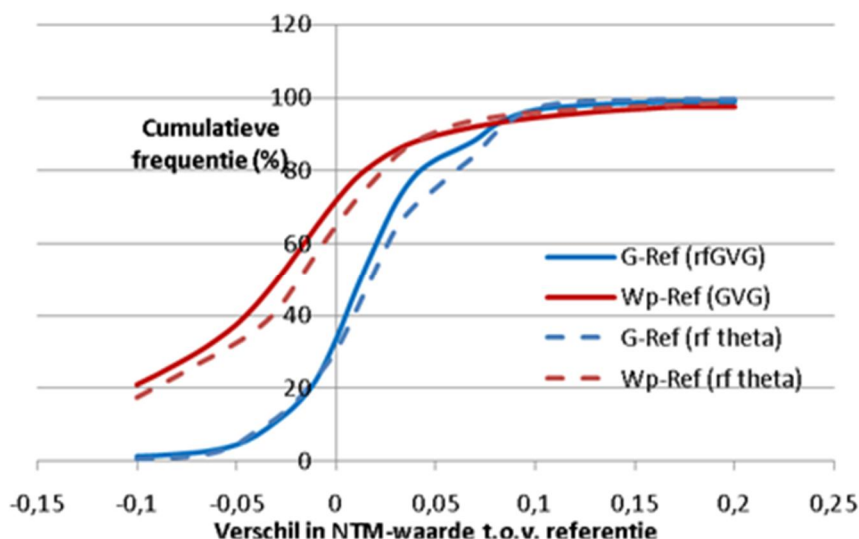
Er is voor deze twee alternatieven gekozen, omdat we enerzijds wilden weten hoe een verandering in de invoer van AMIGO zou doorwerken in het eindresultaat, de potentiële natuurwaarde, ofwel NTM-waarde, en anderzijds hoe het gebruik van een andere reductiefunctie voor mineralisatie zou doorwerken op het eindresultaat. Uit de gevoeligheidsanalyse van AMIGO bleek dat de verkleining van de intreeweerstand van de onderzochte alternatieven het meeste effect had op de AMIGO-uitvoer.

In Figuur 6.10 is te zien dat het effect van het gebruik de reductiefunctie op basis van GVG op de NTM-waarde groter is dan het effect van de verkleining van de intreewaarde. De cumulatieve frequentieverdeling voor de intreeweerstand loopt veel steiler en dichter bij nul dan de frequentieverdeling voor rfGVG. De verkleining van de intreeweerstand resulteert voor ongeveer 60% in een hogere NTM-waarde dan bij de referentie. Bij meer dan 90% is het verschil kleiner dan 0.1. Het alternatief voor de reductiefunctie resulteert in meer extremen dan de referentie, maar gemiddeld zal de NTM-waarde niet veel veranderen, omdat ongeveer de helft van gridcellen een hogere NTM-waarde heeft en de helft een lagere dan bij de referentie.



Figuur 6.10 Cumulatieve frequentieverdeling voor de verschillen in door NTM3 berekende natuurbehoudswaarde t.o.v. van de referentie bij een verkleining van de intreeweerstand (blauw) en bij gebruik van de reductiefunctie voor mineralisatie op basis van GVG (rood).

In Figuur 6.11 is te zien wat het effect van het klimaatscenario is wanneer de alternatieve reductiefunctie (rfGVG) wordt gebruikt. Belangrijk hierbij is op te merken dat in dit geval ook de referentie met rfGVG is doorgerekend. Het G-scenario heeft bij het gebruik van rfGVG een iets kleiner effect dan bij het gebruik van de reductiefunctie op basis van bodemvochtgehalte (verdeling loopt in het positieve deel steiler en dichter bij nul). Het percentage gridcellen dat een hogere NTM-waarde heeft dan de referentie is ongeveer gelijk. Bij het W⁺-scenario heeft een hoger percentage (ca. 70% i.p.v. 65%) van de gridcellen een lagere NTM-waarde dan bij de referentie. Net als bij het gebruik van de reductiefunctie op basis van bodemvochtgehalte heeft het G-scenario over het algemeen een gunstiger effect heeft op de potentiële natuurwaarde dan het W⁺-scenario.



Figuur 6.11 Cumulatieve frequentieverdelingen voor de verschillen in natuurbehoudswaarde uit NTM3 tussen de referentie en het G en W+-scenario voor alle vegetatietypen met een mineralisatie reductiefunctie op basis van bodemvochtgehalte GVG (doorgetrokken lijnen) en bodemvochtgehalte (onderbroken lijnen).

Hoewel de absolute verschillen in NTM-waarde tussen het gebruik van de verschillende reductiefuncties relatief groot kan zijn (figuur 6.1), verandert het effect van klimaatscenario's niet zoveel. De conclusies over het effect van klimaatscenario's op de potentiële natuurwaarde zou gelijk blijven.

Bruikbaarheid

In tabel 6.5 wordt een overzicht gegeven in hoeverre het modelinstrumentarium AMIGO-SMART2-SUMO-NTM3 in de informatie behoefte kan voorzien van de stakeholders. De meeste vragen kunnen met dit instrumentarium beantwoord worden al is dit niet altijd getoond in deze Baakse Beek studie (organische stofopbouw en biomassaproductie).

Tabel 6.5 Antwoorden die het instrumentarium AMIGO-SMART2-SUMO-NTM3 kan geven op de informatiebehoefte van stakeholders.

Vraag stakeholder	Beantwoording met dit instrumentarium
Informatie over natuurwaarden inclusief de factoren die bepalend zijn voor de natuurwaarden	Met NTM3 wordt de potentiële natuurwaarde berekend en doet dat op basis van de GVG die door AMIGO wordt berekend en de zuurgraad en nutriëntenrijkdom die door SMART2-SUMO2 wordt berekend. Zowel de natuurwaarden als de factoren die dat bepalen worden door dit instrumentarium berekend. Hoe goed het model de natuurwaarde op locatie berekent is in deze studie niet goed onderzocht. Uit de vergelijking met FLORBASE komen wel verschillen.
Per maatregel voor elk scenario aangeven wat het oplevert aan vegetatie en/of natuurwaarde / herstel van gewenste natuurontwikkeling.	Verschillen tussen scenario's kunnen met dit instrumentarium redelijk goed worden onderzocht. Het is mogelijk om effecten van beheer door te rekenen, ook bij verschillende klimaatscenario's. In het kader van deze studie ontbrak het aan tijd.
Modellen die inverse werken: uitgaande van welke natuurwaarde je wilt rekent het model uit wat je moet doen/bepaalt het model je maatregel	Écht invers rekenen, uitgaande van abiotische randvoorwaarden, kunnen we wel met SMART2 (zonder SUMO) en dit is gedaan voor het berekenen van kritische depositieniveaus. Wanneer het gaat om beheersmaatregelen zou een optimalisatietechniek gebruikt kunnen worden, waarbij iteratief het beheer wordt veranderd totdat de gewenste natuurwaarde is

Vraag stakeholder	Beantwoording met dit instrumentarium
	bereikt. Hiervoor zou het model in een optimalisatieschil geplaatst moeten worden. Gemakkelijker is het om wat alternatieven door te rekenen en te vergelijken.
Wat doet een maatregel met het organische stof gehalte (ook in relatie tot klimaatverandering/ welke vegetatie levert hoeveel organische stof op (wat bepalend is voor de vochtvoorziening)	Het model SMART2-SUMO2 berekent de organische stofopbouw in de bodem, maar die hebben we in deze studie niet laten zien. Door klimaatverandering kan de afbraak van organische stof toenemen (wat in deze studie het geval lijkt bij het W ⁺ -scenario). Aan de andere kant kan door droogte de afbraak afnemen, maar dat zou weer gecompenseerd kunnen worden door een afname van biomassa productie en dus strooiselproductie.
De relatie tussen organische stof en vochthuishouding	Omdat er geen terugkoppeling is tussen de bodem/vegetatiemodellering (SMART2-SUMO2) en de hydrologie (AMIGO) berekent dit instrumentarium niet het effect van organische stofverandering op de vochthuishouding.
Effect maatregel op gewasopbrengst	SUMO2 berekent biomassa productie in natuurgebieden

6.9 Onzekerheden in de modelketen

Uit de toepassing quick-scan PBL leidraad omgaan met onzekerheden kwam ondermeer naar voren dat kwalitatieve dimensies van onzekerheid in de casussen een belangrijke rol spelen. Daarnaast bleek sprake van een behoefte aan meer inzicht in met name de sterktes en zwaktes van de noodzakelijkerwijs gehanteerde vooronderstellingen in de gebruikte modelketens. In het deelproject kwalitatieve onzekerheidsanalyse Baakse Beek zijn deze aannames en hun beperkingen systematisch in gebracht. Daarbij is gebruik gemaakt van de door Klopogge et al., 2011 ontwikkelde en inmiddels beproefde methode voor de systematische analyse van aannames 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 aannames in de modellentrein Baakse Beek (zie bijlage IX). Niet al deze aannames zijn uit onzekerheidsoogpunt van gelijk belang. Daarom is in een eerste prioriteringsronde aan de betrokken onderzoekers gevraagd een top 10 te selecteren van die aannames 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 16 respondenten zijn samengevoegd tot een groepsranking van de aannames in de groslijst. In die stap zijn nog enkele aannames samengevoegd omdat verschillende respondenten aangaven dat de overlap tussen die aannames zeer groot was. Van de 51 aannames op de oorspronkelijke groslijst zaten er 46 in de top 10 van tenminste 1 van de 16 respondenten, 35 zaten in de top 10 van tenminste 2 van de 16 respondenten en 27 aannames zaten in de top 10 van tenminste 3 van de 16 respondenten. 7 aannames zaten in de top 10 van tenminste 8 van de 16 respondenten. Dit geeft aan dat de top 10 lijstjes redelijk goed convergeren. De resulterende groeps-top 10 van aannames is weergegeven in tabel 6.6.

Tabel 6.6 Groeps-top 10 van aannames in de modellentrein Baakse Beek op basis van 16 respondenten. De punten in de laatste kolom zijn de optelsom over alle respondenten waarbij positie 1 in de top 10 overeenkomt met 10 punten, positie 2 met 9 punten etc. Het theoretisch maximum aantal punten is daarmee 160.

Code	Aanname	In top 10 van # resp.	punten
BF/B M/DI	Het landgebruik van het Baakse Beek gebied en het beheerregime in landbouw en natuur zijn in het model constant in de tijd: Ruimtelijke ontwikkelingen in het gebied vinden in het model niet plaats; het patroon van gebruik door de mens van het watersysteem wijzigt in het model niet. De mensen in het Baakse Beekgebied passen in het model hun landbouw en natuurbeheer niet aan aan het veranderende klimaat (geen adaptatie).	11	78
DO	Mogelijke schade aan de vegetatie ten gevolge van droogtestress is niet meegenomen - met name geldt dit voor droogte stress door een droge periode binnen een jaar dat gemiddeld niet uitzonderlijk droog is. Doordat SMART SUMO op jaarbasis rekent ziet de vegetatie in SUMO alleen de jaargemiddelde grondwaterstanden en reageert daarop. Als er binnen een jaar grote verschillen in hoogste en laagste grondwaterstand zouden zijn, zou dat effecten op de vegetatie kunnen hebben die het model nu niet meeneemt of slechts via een sterk uitgedempt (jaargemiddeld) signaal meeneemt.	11	66
CJ	Markteffecten zitten niet in het model. Toe- of afname in gewasopbrengst kan vertaald in Euro's een totaal ander beeld geven. De verwachting is dat markteffecten klimaat afhankelijk zijn: onder verschillende klimaatscenario's kunnen markteffecten verschillend doorwerken in het gemodelleerde systeem (denk aan mislukte oogsten elders in de wereld).	9	62
DE	Door de wijze van koppeling tussen AMIGO en SMART2/SUMO2 is er grote onzekerheid in de kwantiteit en kwaliteit van het water dat via de onderkant de wortelzone bereikt. De kwantiteit kan uit de gegevens van AMIGO afgeleid worden, maar dan missen we de laterale afvoer; de kwaliteit ontleent SMART2/SUMO2 aan een oude kaart. Voor de berekening van de pH (en daarmee de mineralisatie) zijn deze factoren van grote invloed.	10	62
AA	De range die wordt opgespannen door de gekozen scenario's (G en W+) voor de Baakse Beek casus dekt de onzekerheid en variabiliteit omtrent het klimaat rond 2050 voldoende af. (Hier onder ligt een hele reeks aannamen, ondermeer de aanname dat alle door IPCC beschouwde modellen bij elkaar een goede representatie geven van de onzekerheid; dat daarbij slechts de klimaatforcering becijferd via emissies van broeikasgassen beschouwd is. De veranderende uitstoot van fijnstof / c.q. aerosolen en de mogelijke invloed daarvan op mist, wolken en intensiteit van de zonnestraling, is buiten beschouwing gelaten c.q. verwaarloosd. KNMI neemt aan dat de onzekerheid over de klimaatgevoeligheid afdoende is afgedekt in de IPCC analyses; Uitgangspunt voor de KNMI'06 scenario's was dat ze ongeveer 80% van de IPCC range op zouden spannen; etc.).	6	47
DK	De terugkoppeling van de gesimuleerde wijzigingen in het vegetatiedek in SMART2/SUMO2 naar de hydrologie van AMIGO is buiten beschouwing gelaten (bij verdroging wijzigt het vegetatiedek in een meer open landschap, op de droge zandgrond zou dit de hydrologie wel beïnvloeden maar dat is niet meegenomen in de berekeningen).	8	46
DA	Groeibeperkende factoren zoals ziektes, plagen en onkruiden vallen buiten het model (zowel buiten SMART2 SUMO2 als buiten WOFOST) en daarmee ook de terugkoppelingen zoals die van het veranderend stikstofgehalte (en daarmee eiwitgehalte) van de vegetatie op de aantrekkelijkheid voor begrazing door ondermeer insecten of het ontstaan van betere of slechtere klimaatcondities voor (plaag)insecten en grazers door opschuivende klimaatzones. Impliciet betekent dit dat aangenomen is dat deze groeibeperkende factoren constant zijn in de tijd en niet wijzigen als het klimaat wijzigt.	7	34
CH	Verbetering in de teelttechniek en scholing van boeren is buiten beschouwing gelaten. Aangenomen is dat de teelttechniek niet verandert in de tijd. Dit leidt tot onderschatting van toekomstige gewasopbrengst.	6	32
BC	De doorlatendheid van de ondergrond (Kh en Kv) is in het AMIGO model zodanig beschreven dat deze homogener is dan deze in werkelijkheid is.	4	28

Code	Aanname	In top 10 van # resp.	punten
DB	Tussen AMIGO en SMART zit een voor het koppelen van de modellen noodzakelijke extra aggregatiestap waarin per dag de mineralisatie reductiefactor wordt berekend voor de invloed van vocht en pH op de mineralisatie van nutriënten uit humus. Per gridcel worden deze daggegevens voor vocht uit AMIGO gecombineerd met een jaargemiddelde pH uit SMART2 om per dag de mineralisatiereductiefactor te berekenen. Die wordt vervolgens geaggregeerd tot een jaargetal voor de mineralisatie reductie factor.	6	26

In een tweede ronde is een bredere groep van 23 respondenten gevraagd om elk van de top 10 aannames 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.

Van de top 3 aannames geven we hier de detail-resultaten voor de scores. Voor de volledige resultaten waarin ook de overwegingen voor de scores worden besproken verwijzen we naar het deelrapport Kwalitatieve Onzekerheidsanalyse Baakse Beek (Van der Sluijs & Janssen, 2012).

Aanname BF/BM/DI: Landgebruik en beheer constant in de tijd

Aanname BF/BM/DI: *Het landgebruik van het Baakse Beek gebied en het beheerregime in landbouw en natuur zijn in het model constant in de tijd. Ruimtelijke ontwikkelingen in het gebied vinden in het model niet plaats; het patroon van gebruik door de mens van het watersysteem wijzigt in het model niet. De mensen in het Baakse Beekgebied passen in het model hun landbouw en natuurbeheer niet aan aan het veranderende klimaat (geen adaptatie).* (Merk op dat hier bedoeld is: "geen autonome adaptatie").

Criteria		Aantal experts dat score 4,3,2,1 of 0 gaf						mediaan van de score
		4	3	2	1	0		
a. Invloed situationele beperkingen	Geen beperkingen	1	1	1	11	4	Volledig beïnvloed	1
b. Plausibiliteit	Zeer plausibel	0	1	4	9	4	Speculatief	1
c. Keuzeruimte	Geen alternatieven	2	4	6	4	2	Zeer ruime keus aan alternatieven	2
d. Overeenstemming onder experts	Volledige overeenstemming	0	6	4	4	4	Zeer controversieel	2
e. Overeenstemming onder stakeholders	Volledige overeenstemming	0	1	10	4	2	Zeer controversieel	2
f. Gevoeligheid voor visie en belangen onderzoeker	Niet gevoelig	4	2	5	4	2	Zeer gevoelig	2
g. Invloed op resultaat	Verwaarloosbare invloed	0	2	3	7	6	Sterke invloed op eindpunten rekenketen	1

Karakterisering aanname BF/BM/DI De middelste kolommen geven steeds het aantal respondenten dat score 4, 3, 2, 1 respectievelijk 0 gaf. *n*=18 respondenten.

Aanname DO: Natuurschade door droogtestress deels buiten beeld

Aanname DO/DJ/DN: Mogelijke schade aan de vegetatie ten gevolge van droogtestress is niet meegenomen - met name geldt dit voor droogte stress door een droge periode binnen een jaar dat gemiddeld niet uitzonderlijk droog is. Doordat SMART SUMO op jaarbasis rekent ziet de vegetatie in SUMO alleen de jaargemiddelde grondwaterstanden en reageert daarop. Als er binnen een jaar grote verschillen in hoogste en laagste grondwaterstand zouden zijn, zou dat effecten op de vegetatie kunnen hebben die het model nu niet meeneemt of slechts via een sterk uitgedempt (jaargemiddeld) signaal meeneemt.

Criteria		Aantal experts dat score 4,3,2,1 of 0 gaf						mediaan van de score
		4	3	2	1	0		
a. Invloed situationele beperkingen	Geen beperkingen	1	2	4	8	2	Volledig beïnvloed	1
b. Plausibiliteit	Zeer plausibel	1	3	3	9	1	Speculatief	1
c. Keuzeruimte	Geen alternatieven	2	3	6	5	0	Zeer ruime keus aan alternatieven	2
d. Overeenstemming onder experts	Volledige overeenstemming	1	7	3	3	2	Zeer controversieel	2,5
e. Overeenstemming onder stakeholders	Volledige overeenstemming	0	5	6	2	0	Zeer controversieel	2
f. Gevoeligheid voor visie en belangen onderzoeker	Niet gevoelig	1	4	5	7	0	Zeer gevoelig	2

g. Invloed op resultaat	Verwaarloosbare invloed	0	3	6	5	3	Sterke invloed op eindpunten rekenketen	2
--------------------------------	-------------------------	---	---	---	---	---	---	---

Karakterisering aanname DO/DJ/DN De middelste kolommen geeft steeds het aantal respondenten dat score 4, 3, 2, 1 respectievelijk 0 gaf. $n=17$ respondenten.

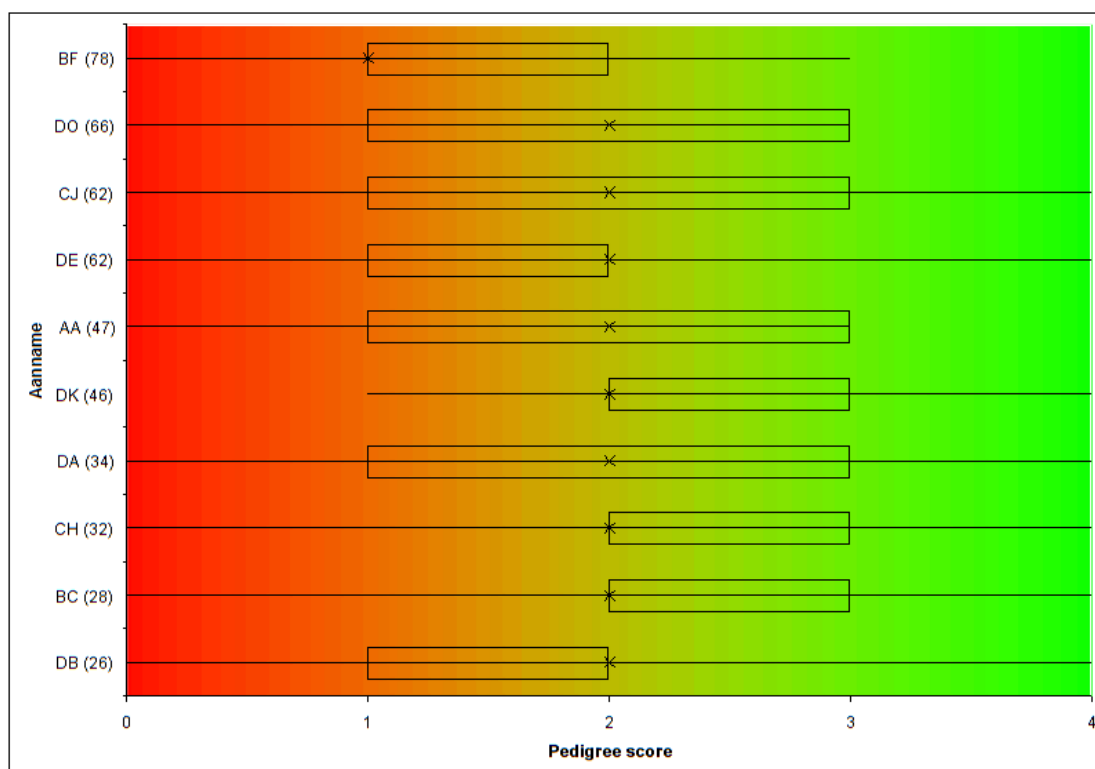
Aanname CJ: Markteffecten niet beschouwd

3. Aanname CJ: Markteffecten zitten niet in het model. Toe- of afname in gewasopbrengst kan vertaald in Euro's een totaal ander beeld geven. De verwachting is dat markteffecten klimaat afhankelijk zijn: onder verschillende klimaatscenario's kunnen markteffecten verschillend doorwerken in het gemodelleerde systeem (denk aan mislukte oogsten elders in de wereld).

Criteria		Aantal experts dat score 4,3,2,1 of 0 gaf						mediaan van de score
		4	3	2	1	0		
a. Invloed situationele beperkingen	Geen beperkingen	3	0	3	3	6	Volledig beïnvloed	1
b. Plausibiliteit	Zeer plausibel	3	1	5	4	4	Speculatief	2
c. Keuzeruimte	Geen alternatieven	5	5	3	2	0	Zeer ruime keus aan alternatieven	3
d. Overeenstemming onder experts	Volledige overeenstemming	3	8	2	1	1	Zeer controversieel	3
e. Overeenstemming onder stakeholders	Volledige overeenstemming	3	5	5	2	1	Zeer controversieel	2,5
f. Gevoeligheid voor visie en belangen onderzoeker	Niet gevoelig	3	3	6	2	2	Zeer gevoelig	2
g. Invloed op resultaat	Verwaarloosbare invloed	4	1	2	5	4	Sterke invloed op eindpunten rekenketen	1

Karakterisering aanname CJ De middelste kolommen geeft steeds het aantal respondenten dat score 4, 3, 2, 1 respectievelijk 0 gaf. $n=16$ respondenten.

In figuur 6.12 is voor alle aannames uit de groeps top 10 de pedigree score weergegeven als Box and Whisker plot. Dit geeft voor elke aanname een beeld van de gezamenlijke spreiding in de scores tussen criteria (a t/m f) en tussen respondenten (1 t/m 18). Hoe lager de pedigree score, hoe zwakker de aanname is onderbouwd. Dit is aangegeven met de kleurengradiënt van rood naar groen.



Figuur 6.12 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 min tot max. 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 problematische 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). Twee andere aannames waarvan een belangrijk deel van de interkwartielafstand van de pedigree scores in het rode gebied ligt (in figuur 6.12) 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 vervolg onderzoek op deze drie aannames te richten kan een substantiële verbetering van de betrouwbaarheid van de uitkomsten van de modellentrein worden verwacht.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Hydrologie

Door de onverzadigde zone module CAPSIM te vervangen met MetaSWAP is er een verbetering opgeleverd voor het hydrologisch model AMIGO. Het verloop in gemodelleerde grondwaterstanden komt hierdoor beter overeen met gemeten waarden en ook is de systematische fout (simulatie van te hoge GLG's) daardoor ondervangen. Herkalibratie na deze modelaanpassing levert vervolgens een extra verbetering op. Zowel de systematische afwijking als de absolute afwijking van model ten opzichte van meetdata (calibratieset) is afgenomen).

Het online mee laten rekenen van de landbouwmodule WOFOST in de hydrologische berekeningen is conceptueel een verbetering. Hierdoor is sprake van een betere terugkoppeling tussen vegetatie (effect van CO₂ op gewasgroei en transpiratie) en hydrologie (verzadigde en onverzadigde zone). Door gebruik te maken van lokale meteogegevens en de Penman-Monteith methode is ook de verdampingscomponent in de berekeningen verbeterd. Voor natuurlijke vegetaties is nog geen rekening gehouden met een terugkoppeling tussen vegetatie en hydrologie. Aandachtspunt in de bovenstaande rekenwijze is wel dat fouten in het gewasgroeimodel kunnen doorwerken in de hydrologie en dat parametrisatie van het gewasgroeimodel nog beperkt is.

Met dit verbeterde hydrologische model zijn alle KNMI'06 klimaatscenario's doorgerekend (30 jaar, dagbasis) met 2050 als zichtjaar. Er zijn geen specifieke landgebruiksscenario's gehanteerd. Hierdoor worden alleen de effecten van klimaatverandering op de hydrologie zichtbaar. Het klimaatscenario is richtinggevend voor de effecten, en die kunnen leiden tot gemiddeld nattere of gemiddeld drogere condities. De effecten van het G klimaatscenario zijn het geringst (lichte vernatting), en voor klimaatscenario W+ het sterkst (droogte).

Het W+ scenario laat dalingen zien in de GLG in de orde van 20-30 cm. Voor de GHG is ook sprake van een daling, ondanks de veronderstelde 14% toename in winterneerslag. De verklaring is zeer waarschijnlijk dat de toename in winterneerslag beperkt effectief is omdat de grondwaterstand niet veel verder kan stijgen dan ontwateringsdiepte of maaiveld. Een belangrijk deel van de toename in winterneerslag verdwijnt via drainage uit het stroomgebied. Daar staat tegenover dat op de hoge zandgronden de grondwaterstands daling niet een dergelijke beperking kent. Doordat in de zomer sprake is van een 19% daling in de neerslag, en doordat temperatuurstijging leidt tot hogere potentiële verdamping is sprake van een fors neerslagtekort in de zomer wat maar beperkt wordt gecompenseerd door neerslag in de winter. In deze klimaatsommen is ook gebruik gemaakt van de Penman-Monteith methode waarmee een sterkere toename in potentiële verdamping in de zomer is berekend. De tabel van het KNMI waarin de klimaatscenario's zijn samengevat gaat uit van een 15% toename in de verdamping (gebaseerd op Makkink). In deze studie wordt met Penman-Monteith uitgekomen op een 19% toename van de verdamping.

Eerdere studies waarin ook de hydrologische effecten van het W+ scenario zijn doorgerekend geven wisselende en soms zelfs tegengestelde beelden. Dit gaat vooral op voor de winterperiode, en ook voor kwel/infiltratie. Belangrijke verklaring hiervoor is de gekozen methodiek en de wijze waarop het klimaatscenario is vertaald naar modelinvoer. Onze indruk is dat de simulaties waarbij een verhoging van de GHG is voorspeld en/of een toename in de kwel en wegzijging in een W+ klimaat voor de hogere zandgronden veelal niet correct zijn.

Het AMIGO model is zeer bruikbaar om in te zetten in het gebiedsproces Baakse beek. Het is goed in staat om gewenste uitvoer voldoende nauwkeurig en betrouwbaar in beeld te brengen. Daarnaast levert het relevante uitvoer waardoor koppelingen met diverse effectmodellen mogelijk zijn. Ondanks dat het model al goed bruikbaar is, is wel verdere ontwikkeling wenselijk om de koppeling met oppervlaktewater en met natuur te verbeteren. Vanuit contacten met de stakeholders is duidelijk geworden dat er specifieke behoefte is om ook de risico's op overstroming en wateroverlast beter in beeld te brengen.

Onzekerheden voor het AMIGO model zijn in beeld gebracht door

- vervanging van de onverzadigde zone module: invloed op modeluitvoer;
- herkalibratie: confrontatie model met 1071 meetlocaties;
- klimaatscenario's: invloed andere meteorologische invoer op modeluitvoer;
- gevoeligheidsanalyse: invloed van interne modelparameters op modeluitvoer;
- kwalitatieve beschouwing onzekerheid en modelconcept.

Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat onzekerheden in de klimaatscenario's (wat voor klimaat hebben we uiteindelijk in 2050?) bepalend is voor de modelresultaten. Deze bepalen of we vooral met natte of droge condities worden geconfronteerd. Maatregelen, bijvoorbeeld in de vorm van aanpassing in het landgebruik zijn zeer waarschijnlijk daarna sterk bepalend voor de modeluitvoer. Verandering van landgebruik en maatregelen zijn niet onderzocht in deze studie. De gevoeligheidsanalyse laat zien dat relevante hydrologische parameters (GXG's) sterk reageren op onzekerheden in de waarde voor drainage en intreeweerstand. Deze weerstand bepaald namelijk sterk de opbolling van de grondwaterstand tussen waterlopen. Verder blijkt dat de ondergrond homogener in het hydrologisch model zit dan hij in werkelijkheid is. Dit is van invloed naarmate er meer lokaal wordt ingezoomd (bijvoorbeeld bij ecohydrologische detailstudies) met het regionale AMIGO model.

Landbouw

De gewasopbrengsten van gras en aardappels zijn dynamisch gemodelleerd met WOFOST, een modelconcept dat op basis van meteorologische omstandigheden de CO₂-vastlegging door fotosynthese berekend. Effecten van klimaatverandering in de vorm van hogere CO₂-gehalten, hogere temperaturen en toenemende extremen (natte, droge perioden) worden op directe wijze met het modelconcept berekend. Gewasgroei heeft een groot effect op de actuele verdamping. In de modelketen is WOFOST direct gekoppeld aan MetaSWAP en op deze wijze volledig geïntegreerd in het geohydrologische model AMIGO. Op dagbasis wisselen de deelmodellen MetaSWAP en WOFOST informatie over de gewasgroei (via de leaf area index), worteldiepte en vochthuishouding in de wortelzone aan elkaar uit. Daarmee wordt adequaat rekening gehouden met terugkoppel effecten zoals een toenemende interceptieverdamping tijdens de groei van het gewas, een afnemende verdamping bij stijgende CO₂-gehalten en een toenemende capillaire nalevering bij een toenemende worteldiepte.

Opvallend is dat de technische koppelingen tussen WOFOST en AMIGO weinig problemen geeft en dat het meelopen van WOFOST in de berekening weinig vertraging van de rekentijden van AMIGO geeft. De koppeling biedt niet alleen perspectief voor 'klimaat-proof' berekenen van gewasopbrengsten, maar ook om in geohydrologische modellen als AMIGO en het NHI de actuele en potentiële verdamping en daarmee de grondwateraanvulling 'klimaat-proof' te berekenen.

De koppeling van WOFOST aan MetaSWAP bevindt zich echter nog in een experimenteel stadium. De koppeling MetaSWAP-WOFOST is weliswaar technisch gerealiseerd en lijkt vanuit conceptueel oogpunt beter, er is echter nog nauwelijks onderzoek gedaan naar de validatie en de onzekerheden. Bouwstenen daarvoor zijn gedane toetsingen op perceelniveau met SWAP-WOFOST, welke voor grasland onder andere al wel voor percelen in de Baakse Beek is uitgevoerd (Ruurlo). Voor aardappelen is op deze schaal SWAP-

WOFOST nog alleen getoetst op een perceel in Schotland. Wat de rekenresultaten voor het gebied waard zijn kan nu vooral voor aardappels niet goed worden aangegeven en voor grasland zouden de resultaten nader moeten worden bestudeerd, onder andere hoe de ruimtelijke patronen in de verschillende opbrengsten verklaard kunnen worden en hoe de verschillen tussen de water-gelimiteerde opbrengsten en de potentiële opbrengsten over de verschillende jaren variëren. Hierdoor is een toepassing van de resultaten voor beleid (waterbeheer, landbouw, ruimtelijke planvorming) nu nog niet verantwoord.

Natuur

Voor de berekening van effecten van klimaatverandering op de natuur is gebruik gemaakt van de modellentrein SMART2-SUMO2-NTM3. Deze trein gebruikt de uitvoer van AMIGO (neerslagoverschot, potentiële en actuele verdamping, vochtgehaltes) als invoer. In deze studie zijn naast de referentie de twee meest uiteenlopende klimaatscenario's doorgeerekend, het G- en het W⁺-scenario. Zowel voor het G- als het W⁺-scenario geldt dat in sommige gebieden een toename van de potentiële natuurwaarde wordt berekend en in andere gebieden een afname. Het areaal waarvoor de natuurwaarde afneemt is bij het W⁺-scenario veel groter dan bij het G-scenario. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de temperatuurstijging onder het W⁺-scenario, waardoor de mineralisatie en daardoor de nutriëntenbeschikbaarheid toeneemt. De GVG is onder het G-scenario minder diep dan onder het W⁺-scenario, hetgeen betekent dat de omstandigheden onder het G-scenario natter zijn.

Er waren voor het studiegebied geen metingen beschikbaar waaraan SMART2-SUMO2 gekalibreerd en getoetst kon worden. Uit eerdere validatie studies, veelal uitgevoerd voor droge ecosysteemttypen, blijkt dat SMART2-SUMO2 redelijk goed in staat is de N-mineralisatie en de pH te voorspellen, mits voldoende bekend is over de bodem en de vegetatie. De berekende potentiële natuurwaarde is vergeleken met natuurwaarden die met DEMNAT bepaald zijn op basis van FLORBASE gegevens (flora waarnemingen opgeslagen per kilometerhok). Door schaalverschillen bleek het lastig om deze twee benaderingen goed te vergelijken, maar er is een positief verband gevonden, met een verklaarde variantie van ruim 20%.

Een grote bron van onzekerheid van de uitkomsten wordt veroorzaakt door de modelinput, met name atmosferische depositie en de kwaliteit van het water dat via capillaire opstijging de wortelzone bereikt. Ook het beheer, dat we voor dit gebied binnen dit project niet hebben kunnen achterhalen, heeft veel effect op de resultaten. Uit eerdere onzekerheidsanalyses met de modellentrein SMART2-SUMO2-NTM3/MOVE bleek dat de vertaling van de abiotiek naar natuurwaarde of het voorkomen van plantensoorten erg onzeker is (met name de vertaling van N-beschikbaarheid naar Ellenberg-N).

Seizoenseffecten 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. Met name voor de nattere natuur is het van belang nader onderzoek te doen naar de vraag of een dergelijke aanname wel voldoet. Moet het SMART2-SUMO2 worden aangepast zodat het op 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 de vochtuithouding tijdens de kiemingsperiode. Zo leidt opwarming tot een vervroeging van het groeiseizoen, en tot een sterkere verdamping met gevolgen voor de vochtvoorraad in de wortelzone.

De ecologische effecten van de klimaatscenario's zijn berekend waarbij verschillende reductiefuncties zijn gebruikt. Daaruit blijkt dat de richting van de conclusie over het ecologisch effect niet wezenlijk verandert. Het W⁺ scenario resulteert volgens deze

berekeningen tot lagere potentiële natuurwaarden dan de referentie en het G scenario tot hogere natuurwaarden. In absolute zin zijn de berekende effecten erg klein.

Onzekerheden in de modelketen

Naast de onzekerheden rondom de verwachte klimaatverandering, zijn er onzekerheden geassocieerd met de modelketen. Een kwalitatieve beschouwing op de onzekerheden in de gehele modelketen heeft geleid tot een selectie ofwel 'top 3' van aannames waarvan verwacht wordt dat deze meest bepalend zijn voor de onzekerheid in modeluitkomsten. Het gaat om onzekerheden gekoppeld aan:

- a. De vooronderstelling dat landgebruik en beheer constant in de tijd zijn. De verwachting is dat de mens wel zal anticiperen op de veranderingen wat een significant effect zal hebben op het watersysteem en de gebruiksfuncties.
- b. Mogelijke effecten op de natuur als gevolg van droogtestress (plantsterfte, brand). Doordat SMART2-SUMO2 met jaargemiddelden rekent is die droogtestress onvoldoende in beeld, terwijl dit juist relevant wordt geacht voor effecten in de natuur.
- c. Het niet meenemen van markteffecten in de modellering. Zo is voorstelbaar dat klimaatverandering van invloed is op de wereldwijde prijsontwikkeling en daarmee van invloed op het landgebruik in Nederland.

Aansluiting op infobehoeftes stakeholders

LTO en waterschap gaven aan dat droogte als een minder groot probleem wordt ervaren dan wateroverlast en natschade. Bij wateroverlast kan vrij snel een forse schade optreden (vrijwel volledig verlies van een oogst), terwijl bij droogte de schade meer gradueel is en er vaak nog maatregelen mogelijk zijn zoals beregening. Daarnaast nemen bij schaarste de prijzen toe, zodat de economische schade voor een boer nog te overzien is bij een mindere oogst vanwege verhoogde droogteschade. Bij natschade is de oogst al snel volledig verloren. De zorg om wateroverlast is actueel vanwege ernstige overstromingen in augustus 2010, waarbij landbouwpercelen en een deel van Lichtenvoorde onder water kwam te staan. Voor natuur is juist informatie over verdroging gewenst (dominant probleem) en de risico's die samenhangen met klimaatverandering. De verwachting is dat natuur, die al last heeft van verdroging, nog meer te lijden krijgt door frequenter en intenser optreden van droogte.

LTO Noord maakt geen gebruik van modellen, wel van praktijkkennis aanwezig bij de boeren. Natuurmonumenten maakt gebruik van Waternood en uitvoer van hydrologische modellen en Provincie en het waterschap is geïnteresseerd in een regionaal modelinstrumentarium (ruimtelijke resolutie 25 m) ter ondersteuning van het gebiedsproces. Het geohydrologisch model AMIGO wordt al als goed bruikbaar ervaren, maar meer koppeling is gewenst met effectmodellen (landbouw, natuur) en oppervlaktewatermodellen (overstroming). De koppeling AMIGO-WOFOST is voor Waterschap en LTO erg interessant omdat meer inzicht is gewenst in de gewasproductie in relatie tot water en klimaat (relaties gewas/vegetatie, organische stof en vochthuishouding). Voor Provincie en Natuurmonumenten zijn inzichten in effecten op natuur erg van belang.

Qua visualisatie voldoet informatie in de vorm van kaarten, met name kansen- en risicokaarten. Zo wil men weten waar grondwaterstanden veranderen, wat natte en droogte gevoelige plekken zijn, waar risicogebieden liggen voor overstroming, wat de gewasproductie en -potenties zijn voor klimaatrobuuste landbouw en hoe vanuit standplaatsenkaarten natuurwaarden (welke vegetatie kansrijk en welke niet onder een veranderend klimaat?) kunnen worden voorspeld.

Er is behoefte aan informatie over onzekerheden in modellen en hoe daar mee om te gaan. IJking van modellen draagt daarbij zeker bij aan de acceptatie van modelresultaten. Men beseft dat aan modelresultaten beperkingen zitten en houdt daar in het planproces rekening mee. Onzekerheden in modellen zijn relatief minder belangrijk dan onzekerheden met betrekking tot sociaaleconomische ontwikkelingen en de effecten van maatregelen. Natuurmonumenten is met name geïnteresseerd in het G en W+ scenario (meest gematigd, en meest extreem scenario; aansluiting deltascenario's). Voor waterschap en Provincie zijn W en W+ scenario's ook interessant (W = natste, W+ = droogste scenario).

7.1 Aanbevelingen

In deze studie is een aanzet gemaakt tot een integraal regionaal modelinstrumentarium waarbij een koppeling is gelegd tussen klimaat, water, bodem en gebruiksfuncties (landbouw, natuur). Hoewel het KNMI de prognose voor klimaatverandering nog verder zal aanscherpen (in 2013 komen er aangescherpte scenario's), is de verwachting dat de regio voorlopig nog geconfronteerd blijft met een forse mate van onzekerheid. Ondanks de onzekerheid ten aanzien van de mogelijke ontwikkeling van het klimaat bevelen we aan om te investeren in verdere verbetering van een regionaal instrumentarium waarmee klimaateffecten kunnen worden gekwantificeerd. De te simuleren systemen zijn complex, en aan de huidige modellen kleven nog vele beperkingen maar verdere verbetering van de betrouwbaarheid en functionaliteit van een modelinstrumentarium is zinvol voor een betere onderbouwing van het handelingsperspectief per klimaatscenario. Naarmate duidelijker wordt hoe het klimaat zich ontwikkelt is dan ook beter aan te geven welke maatregelen effectief zijn voor het bereiken van specifieke gebiedsdoelen.

Voor wat betreft het hydrologie geldt dat het AMIGO model voldoet voor het berekenen van grondwaterstanden en kwelfluxen op regionale schaal. Wel verdient het de aanbeveling om de terugkoppeling tussen landgebruik en waterhuishouding via het koppel AMIGO-WOFOST verder uit te bouwen en te kalibreren en valideren. Een dynamische modellering van deze terugkoppeling is van belang aangezien bij klimaatverandering CO₂ concentraties en temperatuur veranderen, en deze factoren van invloed zijn op de gewasgroei en de hydrologie (verdamping, interceptie). Nu is vanwege de beperkte mogelijkheden voor parametrisatie een dergelijke koppeling alleen voor grasland en aardappelen uitgevoerd, maar het is wenselijk dat dit ook naar andere gewassen wordt uitgebreid (bijvoorbeeld maïs) en dat meer inzet wordt gepleegd op het verzamelen van gekoppelde datasets van hydrologie en gewasgroei zodat deze modelaanpak beter kan worden gekalibreerd en gevalideerd.

Indien AMIGO ingezet dient te worden 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 werkpakket 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.

Indien AMIGO ook ingezet dient te worden voor een betere inschatting van kwel en grondwaterkwaliteit dan is het wenselijk om een Geotop kartering uit te voeren in het AMIGO gebied en het AMIGO modelconcept aan te passen zodat koppeling met gedetailleerde ondergrondinformatie mogelijk is.

Het huidige AMIGO model werkt met vaste oppervlaktewaterpeilen (zomer- en winterpeilen bij niet stationaire berekeningen). Bij droogte kan echter de afvoer dalen en verhoogde droogval optreden. De afvoer van beken onder laagwateromstandigheden (droge, warme perioden) is goed te simuleren met de LGSi (Lowland Groundwater Surface Water

Interaction) methode¹³. Het nieuwe AMIGO model leent zich goed als basis voor de opzet van een LGSI model zodat met een redelijk beperkte inspanning een onderbouwde prognose te maken van het effect van klimaatverandering op de beekafvoeren. De Achterhoek is gevoelig voor droogval en gezien de investeringen in beekherstel is het verstandig een dergelijke nadere prognose te maken.

Om WOFOST verantwoord toe te kunnen passen in modelketens als AMIGO en het NHI, zal de koppeling en parameterisatie op verschillende schaalniveau's moeten worden getoetst. Het verdient daarbij de aanbeveling om per gewas in ieder geval op perceelniveau te toetsen voor verschillende condities en situaties (verschillende qua bodemtypen, weerjaren, bemestingniveaus en bedrijfsvoering). Om SWAP-WOFOST op perceelschaal te toetsen zijn adequate meetgegevens nodig. In het gedane onderzoek is opgevallen dat in Nederland erg weinig percelen zijn waar zowel de *gewasopbrengsten* als de *vochthuishouding* goed gemeten wordt om berekeningen adequaat aan te kunnen toetsen. Het verdient daarom aanbeveling om naast het zoeken naar zulke (historische) datasets, veldonderzoek te starten om zulke data te verzamelen. Opvallend is dat lysimeter onderzoek in Nederland tegenwoordig nauwelijks meer plaatsvindt, terwijl internationaal juist wel wordt ingezet om met lysimeters betrouwbaar inzicht te verwerven in de hydrologie van de onverzadigde zone in samenhang met de vegetatie. Het verdient dan ook sterk de aanbeveling om in veldonderzoek lysimeters in te zetten, omdat deze betrouwbaar inzicht geven in de verschillende waterbalanstermen in de onverzadigde zone in samenhang met de gewasgroei en natuurlijke vegetatie. Dit is waardevolle informatie voor het NHI en voor de validatie van effectmodules voor landbouw en natuur.

Wat betreft 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 vanwege andere rekenvolgorde en opslagcapaciteit is de aansluiting nog niet wezenlijk veranderd.

De modelkoppeling is een koppeling achteraf, wat 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.

Om een indicatie te krijgen van de betrouwbaarheid van het natuureffectmodel is een validatie voor de uitgangssituatie bepaald. Tot nu toe zijn studies gericht op validatie van SMART2-SUMO2-NTM3 veelal uitgevoerd voor droge ecosystemen met een eenvoudige hydrologie. Binnen deze studie is een beperkte vergelijking gemaakt tussen modeluitkomsten (potentiële natuurwaarden) van AMIGO-SMART2-SUMO2-NTM3 en natuurwaarden gekoppeld aan natte –en vochtige ecosystemen bepaald 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 ten aanzien van de houdbaarheid van natuurdoelen. Voor regionale toepassing zou ook gebruik moeten worden gemaakt van vegetatie-opnamen, het liefst gecombineerd met bodemmetingen.

¹³ Zie <http://publicwiki.deltares.nl/display/KRWGR/Interactie+oppervlaktewater+en+grondwaterkwantiteit>

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, hoe kennisdoorwerking dient te worden geborgd, en hoe deze kan helpen bij het aanscherpen van een kennisagenda nodig vervolgstappen in het gebiedsproces.

8 Referenties

Aarts, H.F.M., C.H.G. Daatselaar en G. Holsnhof 2008, "Bemesting, meststofbenutting en opbrengst van productiegrasland en snijmaïs op melkveebedrijven". PRI, Wageningen September 2008, rapport 208.

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.

Bakker, A.M.R., Bessembinder, J.J.E., Kroon, T. & Hurk, B.J.J.M. van den, 2009. Klimatologisch standaardjaar op dagbasis voor heden en toekomst. KNMI technical report TR-310, KNMI De Bilt.

Baroni, G., Facchi, F., Gandolfi, C., Ortuani, B., Horeschi, D., 2010. Uncertainty in the determination of soil hydraulic parameters and its influence on the performance of two hydrological models of different complexity. Hydrol. Earth Syst. Sci., 14, 251–270.

Beres, D.L., Hawkins, D.M., 2001. Plackett–Burman technique for sensitivity analysis of many-parametered models. Ecological Modelling, Volume 141, Issues 1–3, 1 July 2001, Pages 171–183

Bessembinder, J., A. Bakker, R. Leander and A. Feijt, 2011. Time series transformation tool: development and use in CCsP projects. Eindrapport Klimaat voor Ruimte project COM28, KvK.

Bessembinder, J., 2012. Uncertainties in climate variables: sources and relevance. NMDC report.

Bogaart, P.W., G.A.K. van Voorn & L.M.W. Akkermans, 2011. Evenwichtsanalyse modelcomplexiteit; een verkennende studie. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument 226.

Capel, W., J. Delsman, I. Goijer, J. Hoogewoud, H. Jansen, J. Klijn, G. de Lange en A. Otte, 2011. Klimaat en droogte. RBO Rijn Oost.

Confalonieri R. et al., 2006. Exploratory Sensitivity Analysis of CROPSYST, WARM and WOFOST: a case-study with rice biomass simulations. Italian Journal of Agrometeorology, 17 - 25 (3) 2006.

Dik, L., M. Laninga, R. Dijkwel & B. Zandstra, 2007. Integrale visie Baakse beek – Veengoot: herstel de sponswerking. Rapport Grontmij/WRIJ.

Doherty, J. 2004. PEST: Model Independent Parameter Estimation. Watermark Numerical Computing, Brisbane, Australia

Draaijers, G.P.J., 1993. The variability of atmospheric deposition to forests. Ph.D. thesis, University of Utrecht, The Netherlands.

Droogers, P., 2009. Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer: definitiestudie. FutureWater rapport nr 82. STOWA rapport 2009-11. ISBN: 978.90.5773.428.1

Geertsema W., H. Runhaar, T. Spek, E. Steingröver en J.P.M. Witte (2011). Klimaatadaptatie droge rurale zandgronden – Gelderland. Kennis voor Klimaat rapportnummer KvK/034/2011.

Groot, A., E. van Baaren, S. Werners & R. van Ek., 2012. NMDC kritische zone en onzekerheden, werkpakket 1 stakeholderanalyse. NMDC innovatieproject – Integraal waterbeheer, van kritische zone tot kritische onzekerheden.

Hazeu, G.W., 2005. Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN5). Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Alterra-report 1213. Wageningen, Alterra.

Hermans, E., J. Otte en J. van Bakel, 2009. Regionale hydrologische modellering ter onderbouwing van klimaat effecten H2O 4:28-32

Hertog, A J, Rijken, M. 1996. Geautomatiseerde bepaling van natuurbehoudswaarde in vegetatieopnamen. Rapport Provincie Gelderland, 53-57.

Hiemstra, P. en R. Sluiter, 2011. Interpolation of Makkink evaporation in the Netherlands. KNMI, De Bilt.

Hoogewoud, J.C., A.A. Veldhuizen & 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.

Kallen, M.J., E.D. de Goede and P.M.A. Boderie, 2008. Bepaling koelcapaciteit van Rijkswateren; Statistische analyse landelijke warmtelozingscapaciteit en koelcapaciteit Hollandsch Diep onder kritische en extreme omstandigheden. Project nr. Q4498, WL | Delft Hydraulics, Delft, the Netherlands.

Klein Tank, A. en A. Buishand, 1995. Transformation of precipitation time series for climate change impact studies. Klein Tank, A. M. G. en Buishand, T. A., KNMI Wetenschappelijk rapport WR 95-01. KNMI, De Bilt.

Klein Tank, A.M.G. en G. Lenderink (red.), 2009: Klimaatverandering in Nederland; Aanvullingen op de KNMI '06 scenario 's, KNMI, De Bilt.

Klijn, F., 1989. Landschapsecologische kartering Nederland: grondwaterrelaties : toelichting bij het databestand 'grondwaterrelaties' van het LKN-project, CML mededelingen 51. Stiboka rapport nr. 2107, Centrum voor Milieukunde, Leiden. Staring Centrum, Wageningen.

Klijn, F., J. ter Maat, E. van Velzen (red.), J. Hunink, N. Goorden, N. Kielen, W. Werkman, G. Baarse, V. Beumer, J. Delsman, J. Knoop, G. Prinsen, J. van Bakel, M. Hoogvliet, R. van Ek & G.J. Zwolsman, 2011. Zoetwatervoorziening in Nederland: landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw. Deltares rapport 1204358-002.

Kloprogge, P., J.P. van der Sluijs & 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

Klopstra, D., H. Vreugdenhil, H. Hakvoort & R. Verhoeven, 2010. Evaluatie regionale wateroverlast 2010, HKV PR2055, Lelystad.

KNMI, 2006. Klimaat in de 21e eeuw: vier scenario's voor Nederland, Brochure KNMI.

Kooistra, L.; Wamelink, G.W.W.; Schaepman-Strub, G.; Schaepman, M.E.; Dobben, H.F. van; Aduaka, U.; Batelaan, O. 2008. Assessing and predicting biodiversity in a floodplain ecosystem: Assimilation of net primary production derived from imaging spectrometer data into a dynamic vegetation model. *Remote Sensing of Environment* 112 (5). - p. 2118 - 2130.

Kroes, J.G., Supit, I., 2011. Impact analysis of drought and salinity on grassland production in the Netherlands using historical and future climate data. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 144:370-381. DOI:10.1016/j.agee.2011.09.008

Kroes, J. G., Dam, J. C. V., Groenendijk, P., Hendriks, R. F. A., & Jacobs, C. M. J. (2009). SWAP version 3.2. Theory description and user manual. Update 02□: August 2009. Update (p. 284).

Kroes, J.G., J. Supit en P.N.M. Schipper 2011, "*Water management, salinity and crop growth in the Dutch Delta under changing climate conditions*". Congress paper, submitted for presentation at the IWA-conference Climate, Water and Energy (Dublin may 2011).

Kros, J., 2002. Evaluation of biogeochemical models at local and regional scale. Wageningen, PhD thesis Wageningen University.

Kros, J., E.J. Pebesma, G. J. Reinds, P.A. Finke, 1999. Uncertainty in Modelling Soil Acidification at the European Scale, A case study, *Journal of Environmental Quality* 28/2: 366-377.

Kros, J., Reinds, G.J., De Vries, W., Latour, J.B. and Bollen, M.J.S., 1995. Modelling of soil acidity and nitrogen availability in natural ecosystems in response to changes in acid deposition and hydrology, Wageningen, SC-DLO Report 95, 90 pp.

Linden, W. van der, W. Berendrecht, A. Velthuisen, H. Massop, A. Blonk, A. Heuven & W.J. Zaadnoordijk, 2008. AMIGO Actueel Model Instrument Gelderland Oost. Deltares/TNO rapport, 2008-U-R0749/A

Mace G.M. and Stuart S.N. 1994. Draft IUCN Red List Categories, Version 2.2. Species 21-22: 13-24.

Makkink, G.F., 1957. Testing the Penman-formula by means of Lysimeters. *International Journal of Water Engineering* 11 277-288

Marsman, B.A. en J.J. de Gruijter, 1986. Quality of soil maps. A comparison of survey methods in a sandy area. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering, Soil Survey Papers 15, 103 blz.

Mol-Dijkstra, J.P. and Kros, J., 2001. Modelling effects of acid deposition and climatic change on soil and run-off chemistry at Risdalsheia, Norway. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5:487-498.

Penning de Vries, F.W.T, Jansen, D.M., ten Berge, H.F.M., Bakema, A., 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. *Simulation Monographs* 29. Pudoc, Wageningen.

Saltelli, A., Annoni, P. (2010). How to avoid a perfunctory sensitivity analysis. *Environmental Modelling & Software* 25(12): 1508-1517

Schaap, J. en P. Dik, 2007. MetaSWAP meet zich met SWAP, Simulatie van de onverzadigde zone voor regionale en nationale modellen; Stromingen 13, pag 15-26.

Schouwenberg, E.P.A.G., H. Houweling, M.J.W. Jansen, J. Kros en J.P. Mol-Dijkstra (2000) Uncertainty propagation in model chains: a case study in nature conservancy, Alterra-rapport 001, Alterra, Wageningen.

Schuurmans, J.M., M.F.P. Bierkens en E.J. Pebesma, 2007. Automatic Prediction of High-Resolution Daily Rainfall Fields for Multiple Extents: The Potential of Operational Radar. *Journal of Hydrometeorology* 8: 1204 - 1224.

Sluiter, R.J., C.W.L. Reijmerink, B. Overbeek, J. Bessembinder, R. van Dorland, A. Kattenberg, H. Geurts, P. Siegmund, A. Feijt en J. Buisman, 2011. Bosatlas van het klimaat. Groningen, Noordhoff, ISBN 9789001120894, 112 blz.

Snepvangers J en W. Berendrecht, 2007. MIPWA, Methodiekontwikkeling voor Interactieve Planvorming ten behoeve van Waterbeheer. Utrecht, TNO-rapport 2007-U-R0972/A.

Soenario, I., R. Sluiter, 2010. Optimization of Rainfall Interpolation. De Bilt, KNMI-31.

Stafleu, J, Busschers, F, Maljers, D, Gunnink, J.L, en M.van der Meulen. 2011. Geomodeling at TNO-Geological Survey of the Netherlands. In: Russel H.A.J, Berg R.C. and L.H. Thorleifson (compilers). Three-Dimensional Geological mapping. Workshop extended abstracts GSA. 80 p. October 2011. Minneapolis.

Stuurman, R., P. Baggelaar, W. Berendrecht, J. Buma, P. de Louw & G. Oude Essink, 2008. Toekomst van de Nederlandse grondwatervoorraad in relatie tot klimaatverandering. TNO-rapport 2008-U-R0074/B, Utrecht, januari 2008.

V&W (1994). Evaluatienota Water; regeringsbeslissing; aanvullende beleidsmaatregelen en financiering 1994-1998. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, SDU, Den Haag.

Valstar, J. R., D. B. McLaughlin, C. B. M. te Stroet, and F. C. van Geer, 2004. A representer-based inverse method for groundwater flow and transport applications, *Water Resour. Res.*, 40, W05116, doi:10.1029/2003WR002922.

Valstar, J.R., 2001. Inverse modelling of groundwater flow and transport. Ph.D. thesis. Delft Technical University. Delft.

Van Beek, E., M. Haasnoot, K.M. Meijer, J.R. Delsman, J.J.J.C. Snepvangers, G. Baarse, R. van Ek, G.F. Prinsen, J.C.J. Kwadijk & J.W. van Zetten, 2008. Verkenning kosteneffectiviteit van grootschalige maatregelen tegen droogteschade als gevolg van de G+ en W+ klimaatscenario's, Deltares rapport T2498, december 2008.

Van den Hurk, B.J.J.M., A.M.G. Klein Tank, G. Lenderink, A. Van Ulden, G.J. Van Oldenborgh, C. Katsman, H. Van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger & S. Drijfhout, 2007. New climate change scenarios for the Netherlands. *Water Science and Technology*, 56, 4, p. 27-33, doi:10.2166/wst.2007.533.

Van den Hurk, B.J.J.M., A.M.G. Klein Tank, G. Lenderink, A.P. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C.A. Katsman, H.W. van den Brink, F. Keller, J.J.F. Bessembinder, G. Burgers,

G.J. Komen, W. Hazeleger and S.S. Drijfhout, 2006. KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. Wetenschappelijk rapport WR-2006-01 (pp82), KNMI, De Bilt.

Van der Gaast & Massop, 2007. Gaast J.W.J. van der & H.Th.L. Massop; Reconstructie van de historische hydrologie. Pilotstudie voor een stroomgebied in hoog Nederland. Alterra rapport 1446

Van der Gaast, J.W.J., e.a.?, (in prep.). Robuuste watersystemen: pilotgebied Baaksche beek. Alterra rapport ?, Wageningen.

Van der Gaast, J.W.J., H.Th.L. Massop & H.R.J. Vroon, 2009. Effecten van klimaatverandering op de watervraag in de Nederlandse groene ruimte: Analyse van de waterbeschikbaarheid rekeninghoudend met de freatische grondwaterstand en bodem. Alterra rapport 1791, Wageningen.

Van der Sluijs J.P. en Janssen P.H.M., 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 Heemst, H. (1988). Plant data values required for simple crop growth simulation models: review and bibliography.

Van Voorn, G.A.K., D.J.J. Walvoort, M.Knotters, P.W. Bogaart, H. Houweling en P.H.M. Janssen 2001, "een beoordelingslijst voor de complexiteit van modellen en bestanden". WOT-paper 11, project WOT-04-002-223, ISSN 1879-4688, Wageningen december 2011.

Van Walsum, P.E.V. & A.A. Veldhuizen, 2011. MetaSWAP_V7_2_0; Rapportage van activiteiten ten behoeve van certificering met Status A. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOT-werkdocument 276.

Van Walsum, P.E.V., A. Veldhuizen & P. Groenendijk, 2010. SIMGRO 7.1.0, Theory and model implementation. Alterra report 913.1, Wageningen, Alterra.

Verhagen, F., A.J.J. Kanen-Verlinden, C.J. van Herpen, R.F.M. Buskens, A. Wielinga, J. van Sijl & B.J. van der Wal, 2012. Analyse van de effecten en gevolgen van klimaatverandering op het watersysteem en functies. Regionale knelpuntenanalyse Zuid-Nederland (fase 2). RoyalHaskoning rapport 9W8113/R00006/900642/BW/DenB.

Verloop, K., J. Oenema en L. Šebek 2007. "Mineralen goed geregeld, verslag themadag Melkveehouderij 2006". Rapport 40 PRI nr. 153, September 2007.

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:

http://www.dinoloket.nl/data/download/maps/resources/Rapport_NITG_05-038-B0115_netversie.pdf

Wamelink, G.W.W., H.F. van Dobben & 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., Braak, C.J.F. ter & Dobben, H.F. van. 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 & 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 & J.P. Mol-Dijkstra 2011. Klimaatbestendigheid van de EHS 2. Simulatieruns met 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, 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., Mol-Dijkstra, C.J.P., Dobben, H.F. van, Kros, J. & Berendse, F. 2000. Eerste fase van de ontwikkeling van het Successie Model SUMO 1. Verbetering van de vegetatiemodellering in de Natuurplanner. Rapport 045. ALTERRA, Wageningen.

Wamelink, G.W.W., R. Wieggers, G.J. Reinds, J. Kros, J. P. Mol-Dijkstra, M. van Oijen and 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.

Wesseling, J.G., 1991. CAPSEV. Steady state moisture flow theory; User Manual. Report 37. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.

Witte J.P.M., Strasser T en Slings R., 2011. Kwantitatieve vegetatiewaardering beperkt bruikbaar. *Landschap* 28 (2) 56-66.

Witte, J.P.M., 1998. National water management and the value of nature. PhD thesis. Wageningen Agricultural University

Witte, J.P.M., B. Kruijt, C. Maas. 2006. Effecten van CO₂-toename op verdamping. KIWA: KWR 06.003.

Wolf, J., M. Mandryk, A. Kanellopoulos, P. van Oort, B. Schaap, P. Reidsma and M. van Ittersum, 2010. Methodologies for analyzing future farming systems in Flevoland as applied within the AgriAdapt project. AgriAdapt project report no. 1, Wageningen UR. Download: <http://www.klimaaatenlandbouw.wur.nl/NL/Projecten/Agri-ADAPT/>

Begrippenlijst

Voorspelling

In dit rapport bedoelen we met term voorspelling in feite een *projectie voorwaardelijk bij bepaalde klimaat en/of socio-economische/technologische scenario's*. Daarnaast is een model altijd een versimpeling van de werkelijkheid. Een “echte” voorspelling van de werkelijkheid in het jaar 2050 is ook zeer lastig door grote onzekerheden gerelateerd aan o.a. socio-economische en technologische ontwikkelingen. Ook zijn de onzekerheden relatief groot rondom de regionale uitwerking van de wereldwijde klimaatverandering.

Onzekerheidsanalyse

Onderzoek waarbij de onzekerheid in de waarden van metingen, invoer en uitvoer van een gekalibreerd model of modelketen, modelschematisatie en koppelingsconcept nader gekwantificeerd worden. Het is een resultante van beperkingen in betrouwbaarheid, nauwkeurigheid, gevoeligheid, validiteit van invoer, modelconcept en interne parametrisatie. Er bestaat een groot aantal testen om verschillende vormen van onzekerheden in beeld te brengen. Zie <http://leidraad.pbl.nl/help>.

Betrouwbaarheidsanalyse

Bij modelstudies: een analyse van in hoeverre een modelvoorspelling de werkelijkheid benadert. Het kan om een kwalitatieve beschouwing gaan (worden de processen juist gemodelleerd) en/of een kwantitatieve analyse (komt de modeluitkomst overeen met gemeten waarden of met het oordeel van veldexperts).

Nauwkeurigheid

Oplossend vermogen. Bij modeluitvoer kan men ruimtelijke nauwkeurigheid (bijvoorbeeld grootte gridcellen) en temporele nauwkeurigheid (grootte van de tijdstappen) onderscheiden.

Gevoeligheidsanalyse

Studie naar de invloed van variaties in modelparameters/beginvoorwaarden op de modeluitkomsten. Dit is relevant indien de waarde van die modelparameters en/of beginvoorwaarden onzeker is. Een gevoeligheidsanalyse geeft slechts aan waarvoor het model gevoelig is en niet of het model ook betrouwbaar is. Het doel van een gevoeligheidsanalyse is om inzicht te krijgen in welke parameters nauwkeurig geschat zouden moeten worden en welke niet. Deze fase wordt vaak als voorbereiding op de kalibratie doorlopen (Bogaart, et al., 2011).

Kalibratie

IJkingsproces van een model op een bepaalde meetwaarde.

Validatie

De validatie van een model houdt in, dat wordt geëvalueerd of het model voldoet voor zijn doel („fitness for function”) en of het een zinnige representatie van de werkelijkheid is. Dit staat los van de verificatie, waarbij gekeken wordt of een conceptueel model goed omgezet is tot numeriek model (Bogaart et al., 2011). Voor een zuivere evaluatie is het van belang dat een model wordt vergeleken met metingen die niet bij de kalibratie gebruikt zijn (bijvoorbeeld in een andere periode). Vaak gaat het om een controle op de geldigheid van het model binnen een bepaald toepassingsbereik.

Droogte

Een periode van abnormaal droog weer die lang genoeg duurt zodat het gebrek aan water een serieuze hydrologische impact heeft in het getroffen gebied (www.aquo.nl). Er zijn verschillende typen droogte (Hyogo framework). Meteorologische droogte: neerslagtekort

over een bepaalde periode, Landbouwkundige droogte: gebrek aan water voor gewassen, Hydrologische droogte: relatief verlaagde watervoorraad in oppervlaktewater- en grondwatersystemen, Socio-economische droogte: Relatie tussen wateraanbod en watervraag ten behoeve van economische activiteiten.

Watertekort

Een situatie waarbij er onvoldoende water van de juiste kwaliteit aanwezig is om aan de waterbehoefte te kunnen voldoen.

Verdroging

Een natuurgebied wordt als verdroogd aangemerkt als de hoeveelheid beschikbaar grondwater van de juiste kwaliteit onvoldoende is om de natuurwaarden te garanderen. Een gebied wordt ook als verdroogd aangemerkt als ter compensatie van een te lage grondwaterstand of een te geringe kweldruk water van een andere, gebiedsvreemde kwaliteit moet worden aangevoerd. (V&W, 1994).

GHG

Gemiddeld hoogste grondwaterstand; formeel de 3 hoogste grondwaterstanden (3HG) binnen een periode (minimaal 8 jr).

GVG

Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand; Er zijn verschillende methoden om de GVG af te leiden. De GVG kan worden bepaald op basis van grondwaterstandswaarnemingen in het voorjaar (van half maart tot half april). De GVG kan ook worden bepaald op basis van een empirische relatie met GHG en GLG als invoerparameters, bijvoorbeeld conform van der Sluijs (landbouw) of cf Runhaar (natuur).

GLG

Gemiddeld laagste grondwaterstand; formeel de 3 laagste grondwaterstanden (3LG) binnen een periode (minimaal 8 jr).

Wateroverlast

Wateroverlast is een verzamelnaam voor situaties waarin mensen overlast ondervinden als gevolg van te veel water. Hierbij kan het gaan om overlast van water wat van boven komt (regen) of overlast als gevolg van water wat van beneden komt (grondwater). De overlast kan van tijdelijke aard zijn als ze het gevolg is van hevige regenval of een overstroming.

Overstroming

een gebeurtenis waarbij een aanzienlijke hoeveelheid water uit een zee, rivier of meer plaatsen bereikt die normaal gesproken niet onder water staan.

Natschade

landbouwschade door lagere opbrengst van landbouwgewassen en/of door hogere productiekosten als gevolg van hoge waterstanden in natte perioden. (www.aquo.nl)

Droogteschade

Schade door lagere opbrengst van gewassen en/of hogere productiekosten, als gevolg van watertekort in droge perioden. (www.aquo.nl).

Inundatie

Het met opzet onder water zetten van land.

Droogte indicator

Een parameter die bruikbaar is als maat voor een droogte.

Stakeholderanalyse

Analyse van de behoefte van een groep belanghebbenden.

Droogtestress

Het aantal dagen dat de drukhoogte in het midden van de wortelzone lager is dan -12.000 cm (pF 4.2 ofwel verwelkingspunt). Benodigde invoer is bodemfysische eenheid en langjarige gemiddelde grondwaterstand (GVG of GLG). Alterra rapport 367.

Vochttekort

1. Waterdiepte nodig om het bodemvochtgehalte op veldcapaciteit (pF 2) te brengen.
2. De hoeveelheid water die niet kan verdampen omdat er niet genoeg vocht beschikbaar is in de bodem.
3. Vochttekort in Alterra-rapport 1791 is het maximale tekort binnen het groeiseizoen als maat genomen voor het vochttekort. Huinink (Cultuurtechnische Vereniging, 2000).

Potentieel neerslagtekort c.q. overschot

Het verschil tussen de hoeveelheid gevallen neerslag en de berekende referentie-gewasverdamping. Dit verschil wordt dagelijks gesommeerd in het tijdvak van 1 april tot en met 30 september. Een negatief getal geeft een tekort aan, een positief getal een overschot. (www.knmi.nl).

Vochtleverend vermogen van de bodem

Hoeveelheid vocht die in een groeiseizoen van 150 dagen (1 april tot 1 september) en in een droog jaar (zgn. 10% droog jaar) aan de plantenwortel kan worden geleverd. (Van Soesbergen et al, 1986). Neerslagtekort bepaald watervraag, vochtleverend vermogen van de bodem het aanbod.

Beschikbare vochtvoorraad

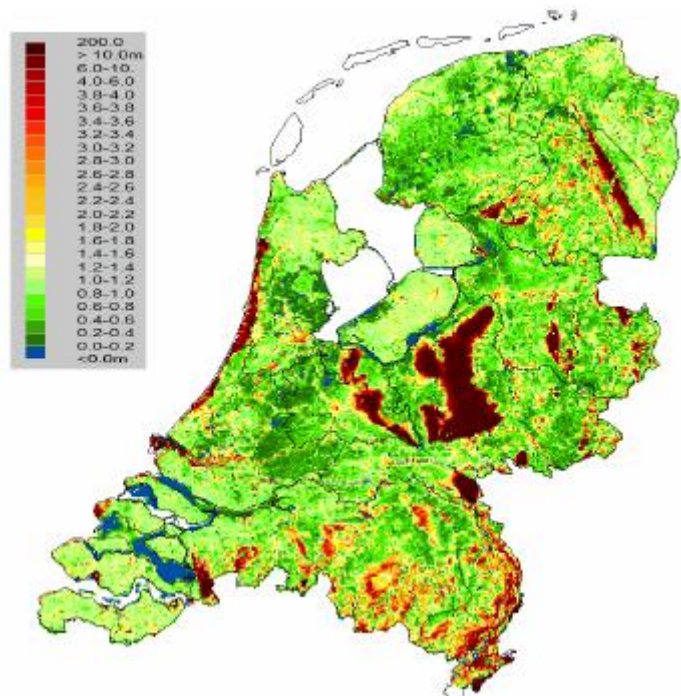
De volumefractie beschikbaar water in de wortelzone is uit de vocht karakteristieken (pF-curve) van de wortelzone af te leiden. We nemen aan dat de hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone gelijk is aan het verschil tussen de volumefractie aan het begin van het groeiseizoen en die bij een drukhoogte $h = -16\ 000$ cm (verwelkingspunt).

I Toelichting model NHI en AMIGO

NHI

NHI (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium) is opgezet voor modellering van het hydrologisch systeem (vooralnog alleen kwantiteit) ten behoeve van de nationale beleidsanalyse. Het NHI is een meerjarig samenwerkingsproject tussen Alterra, Deltares, PBL en de RWS-Waterdienst en een groeiend aantal partners (ingenieursbureaus en regionale waterbeheerders).

Het model heeft een ruimtelijke resolutie van 250x250 m en een temporele resolutie van dagen of decaden (10 daagse perioden). De huidige versie van NHI is 2.0. De ondergrond is nu met 7 modellen cq. watervoerende pakketten geschematiseerd.



NHI bestaat uit de volgende onderdelen:

1. MODFLOW: verzadigde zone (grondwater)
2. MetaSWAP: onverzadigde zone
3. MOZART: regionaal oppervlaktewater
4. DM: landelijk oppervlaktewater

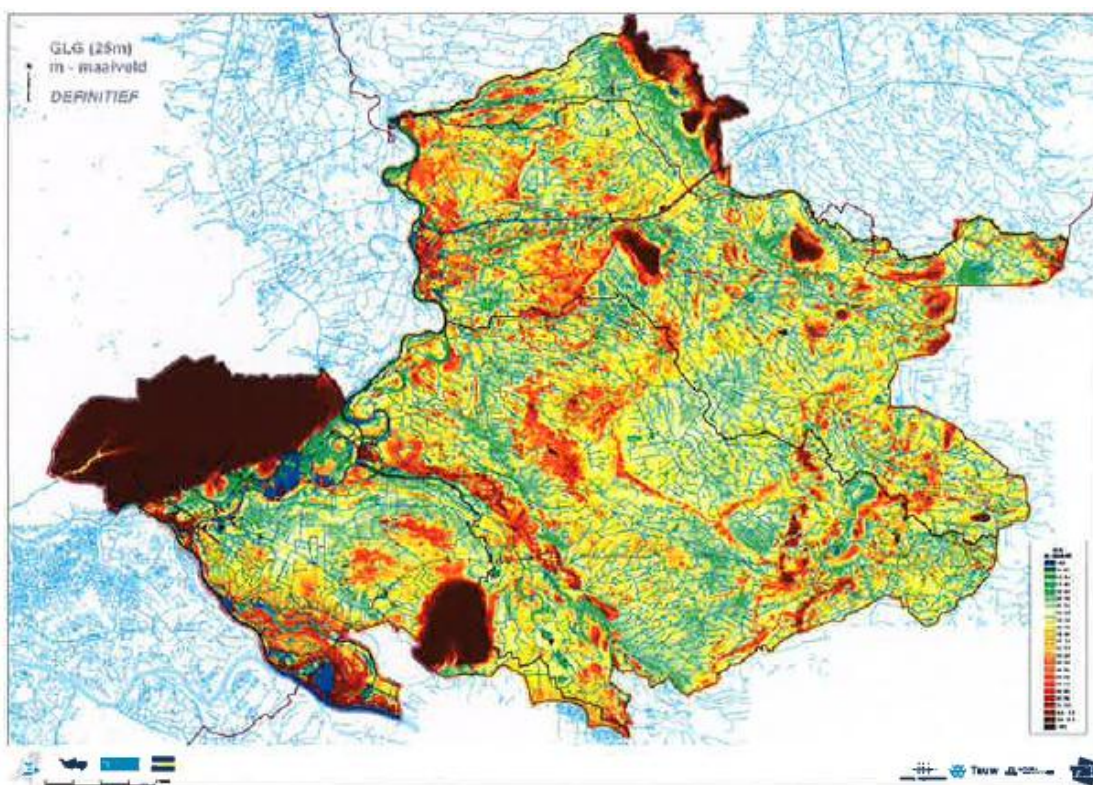
Het model omvat vrijwel heel Nederland met uitzondering van de Waddeneilanden en Zuid-Limburg. Op www.nhi.nu is achtergrondinformatie te vinden en zijn de laatste ontwikkelingen te volgen.

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 (Deltares/TNO rapport 2008-U-R0749/A). Het model beslaat het gebied tussen de IJssel en de Nederlandse grens (de Achterhoek).

AMIGO bestaat uit een MODFLOW model gekoppeld aan een onverzadigde zone module (voorheen CAPSIM, thans MetaSWAP). De ondergrond is geschematiseerd in 12 watervoerende pakketten en 12 scheidende lagen (inclusief geohydrologische basis) op basis van REGIS v II. Het model kan op dagbasis rekenen met een resolutie van 25x25 m.

Het model is gekoppeld aan een Graphical User Interface, iMOD en is bedoeld voor de 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 de modelprojecten MIPWA (Noord-Nederland) en IBRAHYM (Limburg). De eerste versie van het model is verbeterd aan de hand van gemeten grondwaterstanden en stijghoogten middels stationaire en niet-stationaire ijking. Circa 75% van de meetlocaties heeft een afwijking tussen model en meting van < 36 cm.



Door het ontbreken van een oppervlaktewatermodel (bijv. SOBEK-RR, SOBEK-CF) worden de afvoeren alleen berekend op basis van MODFLOW. Het model levert een onderschatting op van de gemeten afvoer.

II Toelichting model WOFOST

WOFOST (WORLD FOod STUDies) is a simulation model for the quantitative analysis of the growth and production of annual field crops. It is a mechanistic model that explains crop growth on the basis of the underlying processes, such as photosynthesis, respiration and how these processes are influenced by environmental conditions.

With WOFOST, you can calculate attainable crop production, biomass, water use, etc. for a location given knowledge about soil type, crop type, weather data and crop management factors (e.g. sowing date). WOFOST has been used by many researchers over the World and has been applied for many crops over a large range of climatic and management conditions. Moreover, WOFOST is implemented in the Crop Growth Monitoring System which is used operationally to monitor arable crops in Europe and to make crop yield forecasts for the current growing season.

WOFOST originated in the framework of interdisciplinary studies on world food security and on the potential world food production by the Center for World Food Studies (CWFS) in cooperation with the Wageningen Agricultural University, Department of Theoretical Production Ecology (WAU-TPE) and the DLO-Center for Agrobiological Research and Soil Fertility (AB-DLO), Wageningen, the Netherlands. After cessation of CWFS in 1988, the DLO Winand Staring Centre (SC-DLO) has continued development of the model in co-operation with AB-DLO and WAU-TPE.

Currently, the WOFOST model is maintained and further developed by Alterra in co-operation with the Plant Production Systems Group of Wageningen University (<http://www.pps.wur.nl/UK>) and the Agri4Cast unit of the Joint Research Centre in Italy (<http://mars.jrc.it/mars/About-us/AGRI4CAST>).

This website serves as a reference point for information about WOFOST and also provides binaries and source code (if possible) for several implementations of WOFOST.

Crop production levels

To be able to deal with the ecological diversity of agriculture, three hierarchical levels of crop growth can be distinguished: potential growth, limited growth and reduced growth. Each of these growth levels corresponds to a level of crop production: potential, limited and reduced production. Reality rarely corresponds exactly to one of these growth/production levels, but it is useful to reduce specific cases to one of them, because this enables you to focus on the principal environmental constraints to crop production, such as light, temperature, water and the macro nutrients nitrogen, phosphorus and potassium.

Potential production: Crop growth is determined by irradiation, temperature and plant characteristics only. Potential production represents the absolute production ceiling for a given crop when grown in a given area under specific weather conditions. It is determined by the crop's response to the temperature and solar radiation regimes during the growing season. Atmospheric CO₂-concentration is assumed to be constant. All other factors are assumed to be in ample supply.

Attainable (Limited) production: In addition to irradiation, temperature and plant characteristics, the effect of the availability of water and plant nutrients is considered. If the supply of water or nutrients is sub-optimal during (parts of) the growing season, this leads to water- and/or nutrient-limited production, which is lower than potential production in terms of

total plant biomass. In special cases the water-limited yield (harvestable product) may be higher than potential yield because of more favourable harvest index.

Actual (Reduced) production: At this level, the possible reduction in crop yield by mostly biotic factors like weeds, pests and diseases is taken into account.

WOFOST distinguishes three levels of crop production:

1. Potential production: determined by crop variety, crop management, radiation and temperature;
2. Water-limited production, where water availability limits the potential production;
3. Nutrient-limited production where nutrient availability limits the water-limited production.

However, nutrient-limited production in WOFOST but is not implemented in a biophysical way (see section 2.1.2 of the WOFOST manual). Nutrient-limited production is obtained through post-processing of the water-limited production results. Further reducing factors (weeds, pests, frost and diseases) are not taken into account in WOFOST.

Temporal and spatial scale

From a spatial perspective WOFOST is a one-dimensional simulation model, i.e. without reference to a geographic scale. However, the size of a region to which WOFOST can be applied is limited. This is due to aggregation effects caused by non-linear response of crop models to model inputs. The non-linear behaviour implies that aggregating input data and then running the model provides different results compared to running the model on the original data and aggregating the model output. In practice, this is resolved by splitting the model spatial domain into small spatial units where the model inputs (weather, crop, soil, management) can be assumed constant. Aggregation of simulation results is carried out by aggregating the simulation results for the individual spatial units to larger spatial units. In Europe, WOFOST is typically applied at spatial units of 25x25 or 50x50 km for which scaling errors are negligible.

From a temporal perspective, WOFOST typically simulates crop growth with a temporal resolution of one day. Some versions of WOFOST still support dekadal (10-daily) or monthly time-steps, but given the general availability of daily weather data nowadays, this option is hardly used anymore and may be dropped in future versions of WOFOST.

Crop growth simulation

In WOFOST, crop growth is simulated on the basis of eco-physiological processes. The major processes are phenological development, CO₂-assimilation, transpiration, respiration, partitioning of assimilates to the various organs, and dry matter formation. The following paragraphs provide a concise description of the main processes implemented in WOFOST.

Assimilation and respiration

The daily gross CO₂-assimilation rate of a crop is calculated from the absorbed radiation, and the photosynthesis-light response curve of individual leaves. This response is dependent on temperature and leaf age. The absorbed radiation is calculated from the total incoming radiation and the leaf area. Daily gross CO₂ assimilation is obtained by integrating the assimilation rates over the leaf layers and over the day.

Part of the formed assimilates is used for maintenance respiration. The remaining carbohydrates are converted into structural plant material, such as cellulose and proteins (dry matter). There is some net loss of carbohydrates due to this conversion, called the growth

respiration. Maintenance respiration is estimated on basis of the dry weight of the different organs and their chemical composition, modified by the ambient temperature.

Phenological development

The order and the rate of appearance of vegetative and reproductive organs characterize crop phenological development. The order of appearance is a crop characteristic, which is independent of external conditions. The rate of appearance can vary strongly, notably under the influence of temperature and photoperiod (day-length).

In WOFOST phenology is described by the dimensionless state variable development stage (DVS). For most annual crops, DVS is set to 0 at seedling emergence, 1 at flowering (for cereals) and 2 at maturity. The development rate is a crop/cultivar specific function of ambient temperature, possibly modified by photoperiod.

To account for the effect of temperature on development stage, the concept of thermal time is applied, sometimes called temperature sum or heat sum. Thermal time is the integral over time of the daily effective temperature (T_e) after crop emergence. T_e is the difference between the daily average temperature and a base temperature below which no development occurs. Above a certain maximum effective temperature, T_e remains constant. DVS is calculated by dividing the thermal time by the thermal time required to pass to the next development stage.

The phenological development of some crops is also influenced by photoperiod. This phenomenon is treated in WOFOST through a photoperiod reduction factor for the development rate until flowering, based on an optimum and a critical photoperiod.

The development stage determines, among other things, the assimilate partitioning over the organs (leaves, stems, roots, storage organs), the specific leaf area and the maximum leaf CO_2 assimilation rate.

Transpiration

Transpiration is the loss of water from a crop to the atmosphere. Water loss is caused by diffusion of water vapours from the open stomata to the atmosphere. The stomata need to be open to exchange gasses (CO_2 and O_2) with the atmosphere. To avoid desiccation, a crop must compensate for transpiration losses, by water uptake from the soil.

In WOFOST, an optimum soil moisture range for plant growth is determined as function of the evaporative demand of the atmosphere (reference potential transpiration of a fixed canopy), the crop group and total soil water retention capacity. Within the optimum range, the transpiration losses are fully compensated. Outside the optimum range, the soil can either be too dry or too wet. Both conditions lead to reduced water uptake by the roots, in a dry soil due to water shortage, in a wet soil due to oxygen shortage. A crop reacts to water stress with closure of the stomata. As a consequence, the exchange of CO_2 and O_2 between the crop and the atmosphere diminishes, and hence CO_2 -assimilation is reduced. WOFOST applies the ratio of actual over potential crop transpiration as a reduction factor to the gross assimilation rate.

Partitioning of dry matter

Partitioning is the subdivision of the net assimilates over the different plant organs. After germination, most assimilates are converted into leaf and root tissue and later into stem tissue. The partitioning to root tissue gradually diminishes and is zero if the development stage equals 1 (anthesis in cereals). From then on, the storage organs receive most of the available assimilates.

In WOFOST partitioning is implemented through so-called partitioning tables which describe the fraction of assimilates partitioned to the various organs as a function of the crop

development stage. In the calculations, a fraction of the assimilates is assigned to the roots first, the remainder is divided over the above-ground organs (including below ground storage organs such as tubers).

Water balance

The moisture content in the root zone follows from the daily calculation of the water balance. In WOFOST three different soil water sub models are distinguished (depending on the implementation). The first and most simple soil water balance applies to the potential production situation. Assuming a continuously moist soil, the crop water requirements are quantified as the sum of crop transpiration and evaporation from the shaded soil under the canopy.

The second water balance in the water-limited production situation applies to a freely draining soil, where groundwater is so deep that it can not have influence on the soil moisture content in the rooting zone. The soil profile is divided in two compartments, the rooted zone and the lower zone between actual rooting depth and maximum rooting depth. The subsoil below rooting depth is not defined. The second zone merges gradually with the first zone as the roots grow deeper.

The third water balance is for water-limited production on soils having influence of shallow groundwater in the rooting zone. The principles are similar to the freely draining situation. Different is that the soil moisture retention capacity is determined by the depth of the groundwater, as is the percolation rate. There is capillary rise if the rooted soil dries out. The groundwater level can be controlled by artificial drainage and the moisture content within the root zone does not vary with depth.

Implementation of crop dynamics

WOFOST is a dynamic, explanatory model that simulates crop growth with time steps of one day, based on knowledge of processes at a lower level of integration. To ensure that the results of the simulation are correct, the different types of calculations (integration, driving variables and rate calculations) should be strictly separated. In other words, first all states should be updated, then all driving variables should be calculated, after which all rates of change should be calculated. If this rule is not applied rigorously, there is a risk that some rates will pertain to states at the current time whereas others will pertain to states from the previous time step.

In WOFOST, the calculations of rates and states are not mixed during a time step but are all executed separately. This is taken care of by grouping all the state calculations into one block as do all the rate calculations for the different components of the model. When looking at the WOFOST model code, the separate execution of initialization, rate calculation and state updates is governed by the value of the ITASK variable (1=initialization, 2=rate calculation, 3=state update, 4=finish).

A more rigorous treatment of implementation of dynamic systems is provided by in the FSE manual by Van Kraalingen and Rappold (<http://library.wur.nl/way/catalogue/documents/fse.pdf>).

III Toelichting model SMART2-SUMO2

Modelbeschrijving

SMART2-SUMO is een bodem-vegetatie model dat ontwikkeld is om op regionale en nationale schaal langjarige effecten van o.a. atmosferische depositie en beheersmaatregelen op de bodem en vegetatie te berekenen. SMART2 is de bodemmodule en SUMO de vegetatiemodule, welke volledig zijn geïntegreerd middels jaarlijkse terugkoppeling.

SMART2

Het SMART2-model (Kros et al., 1995) bestaat uit een set van massa-balansvergelijkingen, welke de input-output-relaties van een bodemcompartiment beschrijven, en een set van vergelijkingen voor de beschrijving van de snelheids- en evenwichtsprocessen in de bodem (tabel 1, figuur 1). Het model bevat alle macro-ionen uit de ladingsbalans. Na⁺ en Cl⁻ zijn slechts aanwezig als indifferente ionen, zij zitten alleen in de ladingsbalans.

Tabel 1 Processen en procesbeschrijving in het model SMART2

Processen	Ion	Procesbeschrijving
<i>Input</i>		
Totale depositie	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , BC ^{2+ 1)} , Na ⁺ , K ⁺	Input
Kwel	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , BC ^{2+ 1)} , Na ⁺ , K ⁺	Input
<i>Snelheidsreacties</i>		
Bladopname	NH ₄ ⁺	Lineair evenredig met de totale depositie
Bladuitloging	BC ^{2+ 1)} , K ⁺	Gelijk aan bladopname
Bladval	BC ^{2+ 1)} , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	berekend door SUMO
Wortelsterfte	BC ^{2+ 1)} , K ⁺	berekend door SUMO
Mineralisatie	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , BC ^{2+ 1)} , K ⁺	1 ^e -orde-reactie en functie van pH, GVG en C/N-ratio
N-immobilisatie	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	Evenredig met de N-depositie en een functie van de C/N-ratio
Groeiopname	BC ^{2+ 1)} , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	berekend door SUMO
Nitrificatie	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	Evenredig met de netto-NH ₄ ⁺ -input en een functie van de pH, GVG en C/N-ratio
Denitrificatie	NO ₃ ⁻	Evenredig met de netto NO ₃ ⁻ -input en een functie van de pH, GVG en C/N-ratio
Silicaatverwerking	Al ³⁺ , BC ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , H ₂ PO ₄ ⁻	0 ^e -orde-reactie
<i>Evenwichtsreacties</i>		
Dissociatie/associatie	HCO ₃ ⁻	CO ₂ -evenwicht
Carbonaatverwerking	BC ²⁺	Carbonaatevenwicht
Al-hydroxide-verwerking	Al ³⁺	Gibbsietevenwicht
Kationenomwisseling	H ⁺ 2), Al ³⁺ , BC ²⁺	Gaines-Thomasvergelijking
Sulfaatsorptie, P-sorptie	H ⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	Langmuirvergelijking

¹⁾ BC²⁺ staat voor divalente basische kationen (Ca²⁺, Mg²⁺)

²⁾ H⁺ wordt impliciet, via de ladingsbalans, door alle processen beïnvloed.

Omdat SMART2 toepasbaar moet zijn op nationale schaal, waarvoor slechts in beperkte mate invoergegevens beschikbaar zijn, is een aantal processen geaggregeerd om de data-behoefte af te stemmen op de databeschikbaarheid op nationale en regionale schaal.

Het aantal beschouwde ecosysteemprocessen is beperkt tot de cruciale processen:

De bodemchemie in SMART2 hangt alleen af van de netto elementinput vanuit de atmosfeer (depositie) en het grondwater (kwel), kronendakinteracties, nutriëntencyclus-processen en de geochemische interacties in de bodem en bodemoplossing (CO₂-evenwichten, carbonaatverwerking, silicaatverwerking, oplossen van Al-hydroxides en kationenomwisseling). De volgende processen zijn niet meegenomen:

- N-fixatie and NH₄⁺-adsorptie,
- immobilisatie en reductie van SO₄²⁻,
- complexatie van Al³⁺ met OH⁻, SO₄²⁻ en RCOO⁻.

De interacties tussen bodemoplossing en vegetatie zijn niet meegenomen. Groei (vegetatieontwikkeling) en strooiselproductie zijn opgelegd via een logistische groeifunctie. Nutriëntopname wordt slechts beperkt wanneer er sprake is van een tekort in de bodemoplossing.

Het concept van de beschouwde processen is zo eenvoudig mogelijk gehouden:

Bodem- en bodemoplossing-interacties zijn of met een eenvoudige snelheidsreactie beschreven (bijv. silicaatverwerking) of door evenwichtsreacties (bijv. carbonaat- en Al-hydroxideverwerking en kationenomwisseling). Invloed van omgevingsfactoren zoals de pH op verwerkingssnelheden en kationenomwisseling is buiten beschouwing gelaten. Stoftransport is beschreven onder de aanname dat er volledige menging optreedt en dat het bodemcompartiment homogeen is met een vaste laagdikte en dichtheid. Omdat SMART2 een éénlaag-model is wordt de verticale heterogeniteit verwaarloosd en hebben de voorspelde bodemvochtconcentraties betrekking op het water dat de wortelzone verlaat. De tijdstap van het model is een jaar; seizoensvariabiliteit wordt dan ook niet meegenomen.

Effecten vocht en temperatuur:

Oorspronkelijk was in SMART2 de reductiefactor voor decompositiesnelheid afhankelijk van de voorjaarsgrondwaterstand (MSW in m-mv) volgens:

$$rf_{mi,MSW} = \begin{cases} 0.25 & \text{for } MSW \leq 0.45 \\ \log_{10}(4 \cdot MSW) & \text{for } 0.45 < MSW < 2.50 \\ 1 & \text{for } MSW \geq 2.50 \end{cases} \quad (1)$$

Door de koppeling met een hydrologisch model is het mogelijk de decompositie afhankelijk te maken van het vochtgehalte i.p.v. van de grondwaterstand. Decompositiesnelheden zijn evenredig met het aandeel luchtgevulde poriën. Dit aandeel kan geschat worden uit het aandeel watergevulde poriën (θ) en het vochtgehalte bij waterverzadiging (θ_{sat}). De reductie wordt als volgt berekend:

$$\left. \begin{aligned} rf_{mi,\theta} &= 0 & \text{if } : \frac{\theta}{\theta_{sat}} < 0.62 \\ rf_{mi,\theta} &= \left(\frac{\frac{\theta}{\theta_{sat}} - 0.62}{0.38} \right)^{1.74} & \text{if } : 0.62 \leq \frac{\theta}{\theta_{sat}} \leq 1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Voor droogte geldt:

$$\begin{aligned}
 rf_{mi,dr} &= 0 & \text{if : } \theta < \theta_{wp} \\
 rf_{mi,dr} &= \frac{2 \cdot (\theta - \theta_{wp})}{\theta_{fc} - \theta_{wp}} & \text{if : } \theta_{wp} \leq \theta < \frac{\theta_{fc} + \theta_{wp}}{2} \\
 rf_{mi,dr} &= 1 & \text{if : } \theta \geq \frac{\theta_{fc} + \theta_{wp}}{2}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Waarin θ_{wp} het verwelkingspunt en θ_{fc} de veldcapaciteit is. (Vleeshouwers & Verhagen, Global Change Biol., 2002, 8: 519-530)

Temperatuurseffect op decompositie:

$$rf_{mi,T} = e^{3.36 \left(\frac{T-40}{T+31.79} - \frac{10-40}{10+31.79} \right)} \quad (T_{ref} = 10^\circ\text{C}) \tag{4}$$

Het effect op mineralisatie is het product van beide reductiefactoren. De reductiefactoren voor vocht en temperatuur worden berekend op dagbasis en daarna berekend tot een jaargemiddelde.

SUMO

In 1998 is door Alterra, in samenwerking met de Wageningen Universiteit en het RIVM, met de ontwikkeling van SUMO (Wamelink et al. 2000) begonnen. Het model is een subroutine van SMART2 en bedoeld om:

1. De vegetatieontwikkeling, met name successie en daarmee samenhangende processen beter te modelleren dan in SMART2 gebeurde.
2. De modellering van de invloed van beheer op de vegetatie mogelijk te maken.
3. Terugkoppeling van de vegetatieontwikkeling naar de bodem mogelijk te maken.

De drijvende kracht in SUMO is de biomassa ontwikkeling. Biomassagroei wordt voorspeld op basis van stikstofbeschikbaarheid, lichtbeschikbaarheid, grondwaterstand en beheer. In SUMO beconcurreren vijf functionele typen elkaar om nutriënten en licht. De groei kan bovendien worden beperkt door een lage grondwaterstand of door het beheer. De vijf functionele typen zijn: climaxbomen, pionierbomen, struiken, dwergstruiken en kruiden (inclusief grassen). Voor elk type worden drie organen gesimuleerd: wortels, houtige niet fotosynthetiserende delen en bladeren. De vijf functionele typen onderscheiden zich onder andere van elkaar in de manier waarop nieuwe biomassa over de organen wordt verdeeld en welk deel van de organen per jaar sterft. De concurrentie om nutriënten tussen de typen vindt plaats op basis van de aanwezige wortelbiomassa (hoe meer wortelbiomassa, hoe meer stikstofopname). De nutriëntopname is echter gebonden aan een maximum, welke wordt bepaald door het quotiënt van de maximale groeisnelheid en het maximale nutriëntgehalte. De concurrentie om licht tussen de typen vindt plaats op basis van de lengte (de hoogste vangt eerst licht) en de bladbiomassa (hoe meer bladbiomassa, hoe meer licht er wordt onderschept). Om dit mogelijk te maken wordt van elk functioneel type de lengte gesimuleerd. Voor de bomen wordt dit per boomsoort gedaan, waarbij de soorten zijn gekozen op basis van of aanplant of successie. Bij successie bepalen de bodemomstandigheden (bodemtype en voorjaarsgrondwaterstand) de boomsoort. De lengtegroei van de boomsoorten wordt gesimuleerd met behulp van een polynoom op basis van Jansen et al. (1996). De uiteindelijke jaarlijkse lengtegroei varieert tussen een minimum en een maximum en is afhankelijk van de nieuw gevormde biomassa. Voor de overige functionele typen wordt geen onderscheid gemaakt in soorten. Voor de struiken is voor de lengtegroei van eenzelfde type groeicurve als voor de bomen gebruik gemaakt, waarbij een

maximale lengte van ongeveer zeven meter bereikt kan worden. De lengte van de dwergstruiken en kruiden is afhankelijk van de biomassa in het betreffende functionele type. De hoeveelheid biomassa die per functioneel type aanwezig is, bepaalt het voorspelde vegetatiestructuurtype. Hierdoor wordt het mogelijk successie te voorspellen. Zo kan een grasland na staken van het beheer zich ontwikkelen naar een bos. Door SUMO worden 12 structuurtypen gemodelleerd. In elk structuurtype zijn de vijf functionele typen aanwezig, al kan de hoeveelheid biomassa gering zijn (bijv. struiken in grasland).

Temperatuureffect

Het effect van temperatuur en water op de groei wordt in SUMO als volgt berekend, volgens de benadering in het Miami model (Chen & Lieth, 1993):

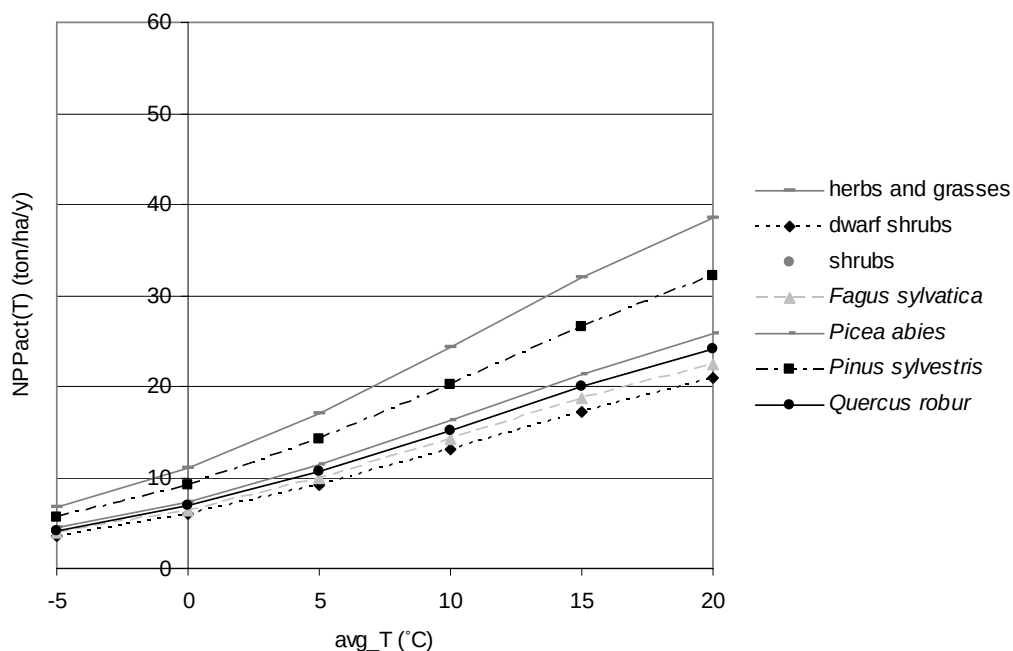
$$NPPact(T)_t = k(T_{ref}) \cdot \frac{1}{1 + \exp(1.315 - 0.119 \cdot T_{a,t})} \quad 1.$$

waarin $NPPact(T)_t$ is de maximum netto primaire productie (NPP) gecorrigeerd voor temperatuur effecten ($kg \cdot ha^{-1} \cdot j^{-1}$), $k(T_{ref})$ a soortspecifieke constante bij een gegeven referentie temperatuur (deze vervangt de overall waarde van 3000 ($kg \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$) door Lieth), $T_{a,t}$ is de gemiddelde jaartemperatuur ($^{\circ}C$) op tijdstip t . Voor Nederland is de referentie temperatuur $10^{\circ}C$.

De schalingsfactor voor temperatuur wordt berekend volgens:

$$ST_t = \frac{2.133}{1 + \exp(1.315 - 0.119 \cdot T_{a,t})} \quad 2.$$

De afleiding hiervan is te vinden in De Vries et al. (2007). In figuur 1 is te zien wat het temperatuureffect is op de groei voor verschillende boomsoorten en struiken.



Figuur 1 Effect van de jaarlijkse temperatuur (avg_T) op de maximum groei gecorrigeerd voor T.

Vochteffect

Het effect van waterbeschikbaarheid op de NPP (RWav, Eq. 3) is berekend als een empirische functie van het verschil tussen de actuele evapotranspiratie (AET in m j⁻¹) en de potentiële evapotranspiratie (PET in m j⁻¹) volgens (Wamelink et al., 2004):

$$RWav_t = \frac{RW_{max}}{RW_{max} + \exp(-k_1 * (AET - k_2 * PET))} \quad 3.$$

Hierin is RWav de reductie factor voor waterbeschikbaarheid (-), RWmax is de maximale reductie (-) (=1), k1 en k2 zijn constanten met een waarde van respectievelijk 15 (j m⁻¹) en 0.5 (-). De reductie van NPP is 0.5 als AET = 0.5 PET. Bij AET = 0 is de water reductie factor (en dus NPP) bijna gelijk aan nul en bij AET = PET bijna 1. De actuele verdamping en de potentiële verdamping wordt berekend door het NHI.

Aansluiting met hydrologische modellen (NHI en Amigo)

In tabel 2 staan een aantal technische kenmerken van SMART2-SUMO die van belang zijn voor de aansluiting met het NHI en Amigo. NHI heeft een ruimtelijke resolutie van 250 x 250 m en een temporele resolutie van 10 dagen of decaden. Amigo heeft een ruimtelijke resolutie van 25 x 25 m en rekent op dagbasis. SMART2-SUMO sluit dus qua ruimtelijke resolutie aan op het Amigo-model, MetaSwap in het Amigo model levert de gewenste input variabelen voor de vochtthuishouding in SMART2, maar omdat SMART2 op jaarbasis rekent moet hier wel een conversie worden gemaakt.

Tabel 2. Technische kenmerken van belang voor aansluiting met NHI en Amigo

	SMART2- SUMO
Aantal lagen	1
Diepte modeluitvoer	30 cm (in principe variabel, maar voor koppeling met MOVE tot 30 cm)
Tijdstap	1 jaar
Resolutie	NL: 250 x 250 m, Baakse beek: 25 x 25 m
Aantal gridcellen	NL: circa 81000, Baakse beek: circa 428160
Rekenvolgorde	Per gridcel hele tijdreeks, dan volgende gridcel

Onderstaande tabel geeft de benodigde invoer vanuit het NHI om effecten van klimaatverandering met SMART2-SUMO door te rekenen. Aangezien SMART2-SUMO op jaarbasis rekent moet alle uitvoer van het NHI omgerekend worden naar getallen op jaarbasis. Voor neerslag, kwel en verdamping zijn dat de jaartotalen in m/j.

Benodigde parameters (per locatie) vanuit NHI naar SMART2-SUMO.

Parameter	Eenheid	Temporele resolutie	Toelichting
Bodemtype	-	-	Bodemtype moet gelijk zijn voor beide modellen. De bewortelbare diepte zoals die in NHI gegeven wordt, wordt aangehouden
Lutumgehalte 0-30 cm	%	-	Om bodemtype af te leiden
Organische stof in wortelzone (0-30cm)	%	Vast?	Om bodemtype af te leiden en generieke invoer SMART2.
Vochtgehalte verzadiging	bij cm^3/cm^3	Vast	
Vochtgehalte veldcapaciteit	bij cm^3/cm^3	Vast	
Vochtgehalte verwelkingspunt	bij cm^3/cm^3	Vast	
Vegetatietype	-	Vast voor de hele periode	SMART2-SUMO moet rekenen met zelfde vegetatie als waarmee het NHI gerekend heeft.
Leeftijd bos	Jaar	Initieel	Alleen aan begin, indien bekend
Neerslag	m/j	Jaar	Jaartotaal
Waterflux over onderrand wortelzone	m/j	Jaar	Dit gaat om de netto capillaire opstijging aan de onderkant van de wortelzone. Vooral van belang voor aanvoer van basische kationen uit de ondergrond
Potentiële verdamping	m/j	Jaar	Jaartotaal. SUMO berekent groeireductie op basis van potentiële en actuele verdamping
Actuele verdamping	m/j	Jaar	Jaartotaal. SUMO berekent groeireductie op basis van potentiële en actuele verdamping
Vochtgehalte	cm^3/cm^3	Dag	Voor reductie van mineralisatie en nitrificatie op basis van vochtgehalte hebben we dagwaarden nodig.
Temperatuur	gr C	Dag	Dagelijkse temperatuur nodig

IV Vragenlijst stakeholderanalyse

I. Introductie

Doel en context interview

...

Wat wordt er met de interviewresultaten gedaan?

...

II. Rol respondent

1. Naam:

2. Hoe bent u bij de problematiek zoetwaterschaarste – natschade betrokken in de Baakse Beek betrokken? (bedrijfsmatig, beleidsmatig, ...)

III. Probleemanalyse

3. Wat betekent de **zoetwaterschaarsteproblematiek** voor u op dit moment? Hoe uit deze problematiek zich?

4. Welke partijen spelen een rol in deze problematiek? En op welke manier?

5a. Hoe ernstig is de zoetwaterschaarste problematiek volgens u (geef antwoord aan op schaal)

Zeer ernstig – ernstig – matig – niet ernstig

| 1..... 2..... 3..... 4..... |

5b. Waarom?

6a. Wat verwacht u van de zoetwaterschaarste problematiek in de toekomst? (vul antwoord in op schaal)

Veel ernstiger dan nu – geen verandering – minder ernstig

.1..... 2..... 3...

6b. Waarom verwacht u wel of geen verandering in de ernst van de kwestie?

7. Wat betekent de **natschade problematiek** voor u op dit moment? Hoe uit deze problematiek zich? *(in KvK rapport wordt verlies van een snede genoemd doordat 1^e snede later komt)*

8. Welke partijen spelen een rol in deze problematiek? En op welke manier?

9a. Hoe ernstig is de natschade problematiek volgens u (geef antwoord aan op schaal)

Zeer ernstig – ernstig – matig – niet ernstig

| 1..... 2..... 3..... 4..... |

9b. Waarom?

10a. Wat verwacht u van de natschade problematiek in de toekomst? (vul antwoord in op schaal)

Veel ernstiger dan nu – geen verandering – minder ernstig

.1..... 2..... 3...

10b. Waarom verwacht u wel of geen verandering in de ernst van de kwestie?

IV. Informatiebehoeften

Informatiebehoefte en –gebruik in het verleden

- 9a. Welke maatregelen of (beleids)strategieën heeft u in het verleden al getroffen om de zoetwaterschaarste en of natschade problematiek het hoofd te bieden?
- 9b. Welke informatie speelde hierbij een belangrijke rol en hoe heeft u deze informatie verworven?
- 9c. In hoeverre heeft u destijds gebruik gemaakt van wetenschappelijke (met name op gebied van hydrologie) informatie bij de besluitvorming? Waarom wel/niet? Welke? (*Waterschap gebruikt HELP-tabellen voor berekening van droogte schade. Deze gaat alleen uit van verandering van gemiddeld laagste grondwaterstand. En niet van droogtes tijdens groeiseizoen.*)
10. Hoe hebben deze maatregelen / strategieën uiteindelijk uitgedaan?
11. Wat zijn de belangrijkste graadmeters/criteria die u gebruikt heeft om te beoordelen of een maatregel of (beleids)strategie succesvol is?

Informatiebehoefte en –gebruik nu en in de toekomst?

12. Welke maatregelen (of (beleids)strategieën) overweegt u op dit moment om de zoetwaterschaarste en of natschade problematiek aan te pakken? (in KvK rapport worden o.a. genoemd: herstellen sponswerking als maatregel tegen droogte, dimensionering waterlopen aanpassen, aanwijzen van bergingsgebieden voor wateroverlast benedenstrooms, water bergen op natte voor landbouw niet interessante gronden, robuuste EHS/lint van natte bossen.

In de hierna komende vragen gaan we in op specifieke informatiebehoeften voor het uitvoeren van een bepaalde maatregel. Welke maatregel of strategie is voor u het meest interessant om uit te werken (gezien de tijd moeten we keuzes maken)

- 13a. Welke informatie hoopt u te kunnen gebruiken bij het nemen van beslissingen over deze maatregel of (beleids)strategie ten aanzien van de zoetwaterschaarste/natschade problematiek?
- 13b. In hoeverre denkt u bij het nemen van beslissingen over de maatregel (of (beleids)strategie) informatie nodig te hebben op het gebied van klimaatverandering, grondwater en oppervlaktewater, gewasopbrengst?
- 13c. Welke van deze informatiebehoeften heeft u nu niet ter beschikking maar zou u wel graag willen hebben? (Graag zo specifiek mogelijk)
Klimaatverandering: Bijv. extremen, gemiddelden, kans op meerdere droge jaren achter elkaar, kans op meerdere natte jaren achter elkaar
Grond /oppervlakte water: Bijv. grondwaterstand, chloridegehalte wortelzone, diepte van brak/zout grensvlak e.d....
Gewasopbrengst: Bijv. veranderingen in opbrengst aardappelen na 2050.
- 13d. Op welk schaalniveau wenst u deze informatie? (ruimtelijke en temporele resolutie, bijvoorbeeld hectare gemiddeld; seizoensgemiddeld, of momentaan (bijv. extremen tijdens weersepisoden)?
Klimaatverandering: Bijv. voorspelling voor 2050
Grond /oppervlakte water: Bijv. regiemcurve grondwater, dagwaarden grond/oppervlaktewater, gemiddelden over het groeiseizoen, gemiddeld bodemvocht per perceel, chloridegehalte wortelzone
Gewasopbrengst: Bijv. gemiddeld kg/ha, seizoensgemiddelde, over 40 jaar..

- 13e In welke vorm zou u de deze informatie willen krijgen (kaarten (bijvoorbeeld met risicoprofielen, overschrijdingskansen), GIS-data, website, e.d.)

Antwoorden van vraag 13 a t/m e worden in de hierna genoemde tabel gedocumenteerd

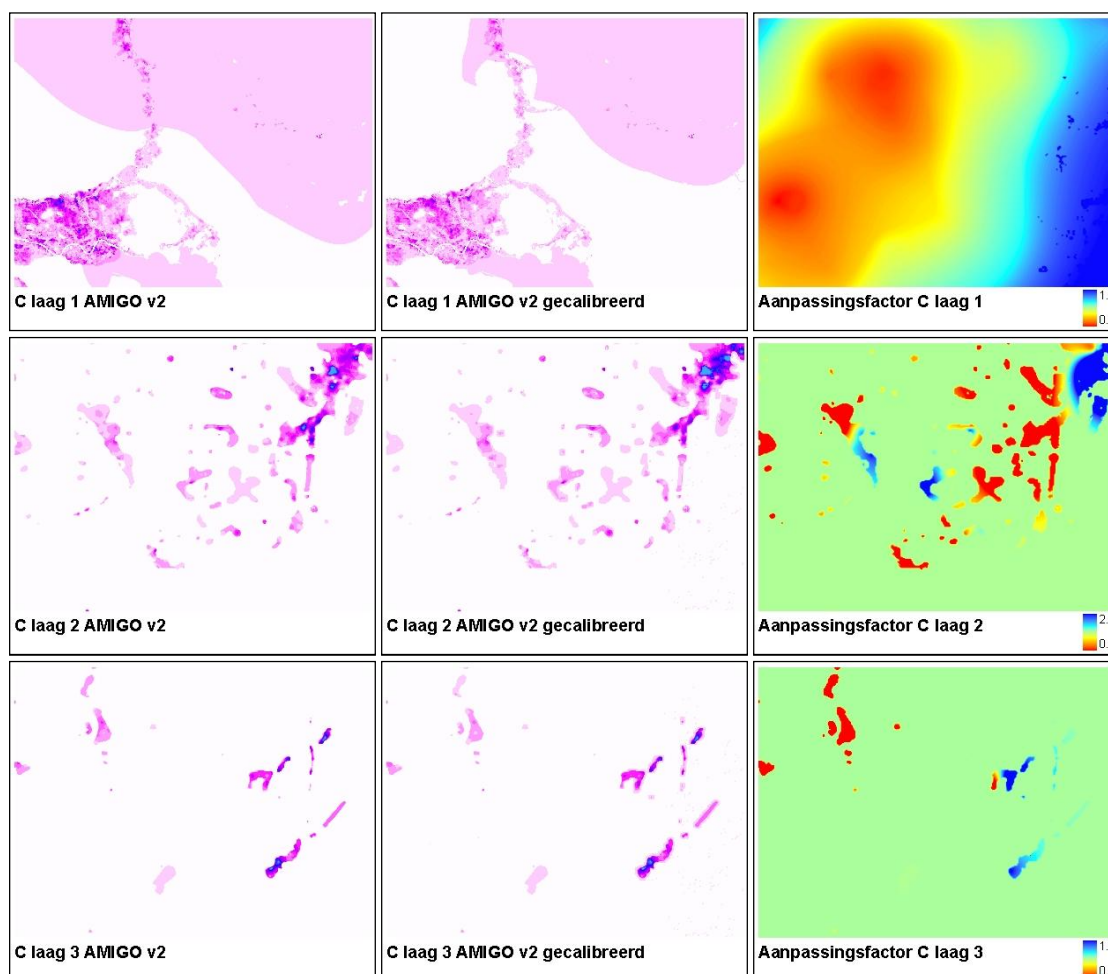
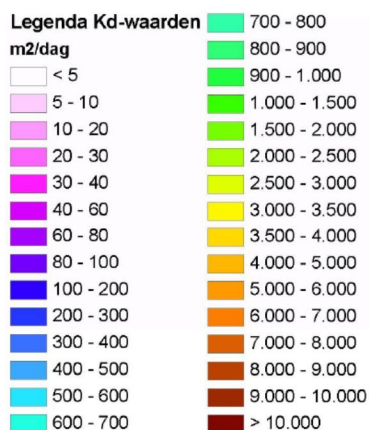
	Specifieke informatiebehoeften	Op welk schaalniveau?	In welke vorm dient informatie aangeboden te worden?
klimaatverandering			
Grond/oppervlakte water			
Gewasopbrengst			

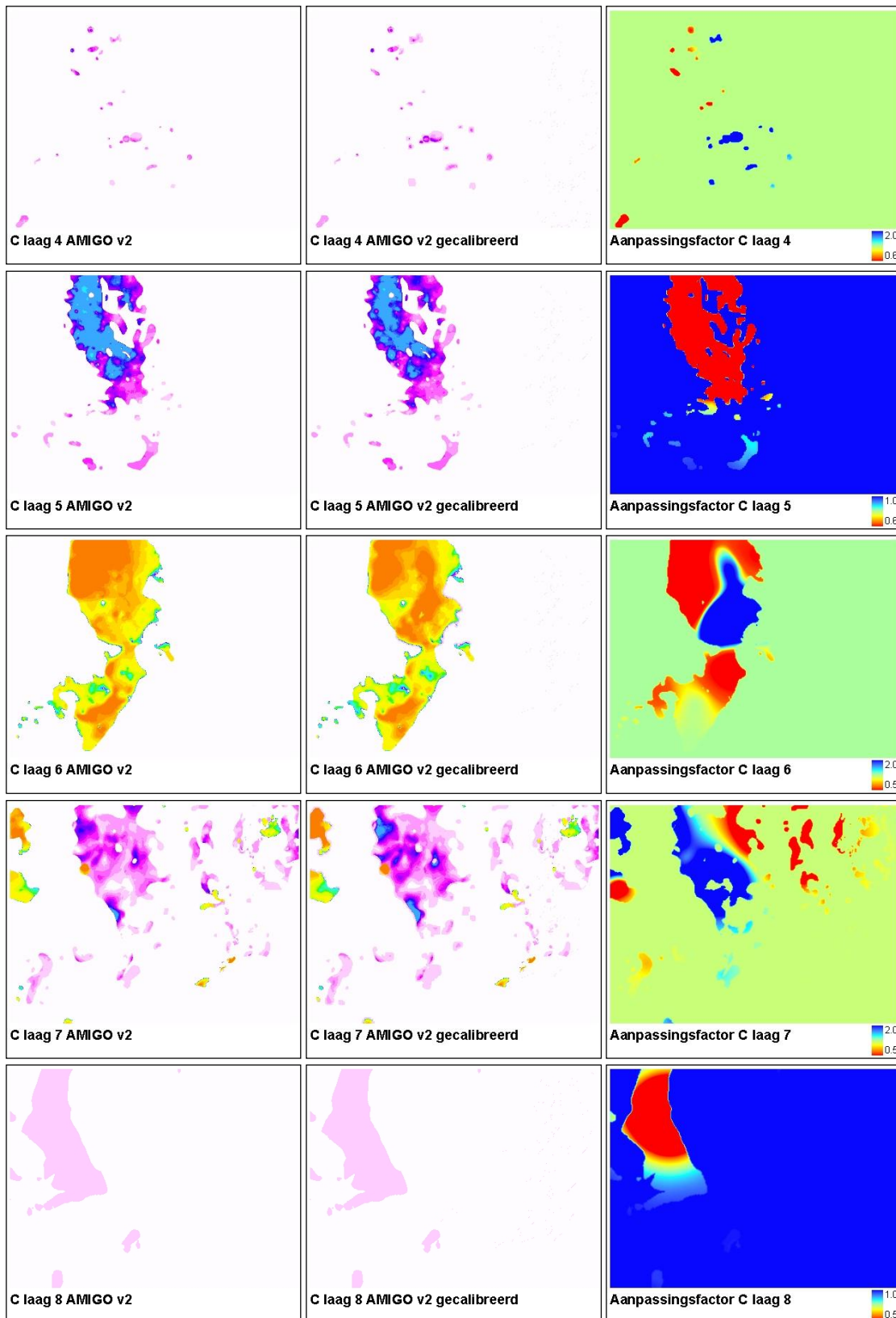
14. Welke range van waarden van de bij 13 genoemde informatie is in geval van aardappelen voor uw beslissing relevant of te wel bij welk waardebereik verandert uw beslissing voor:
- ☐ Grondwaterstand?
 - ☐ Chloridegehalten?
 - ☐ Voor andere doelvariabelen?

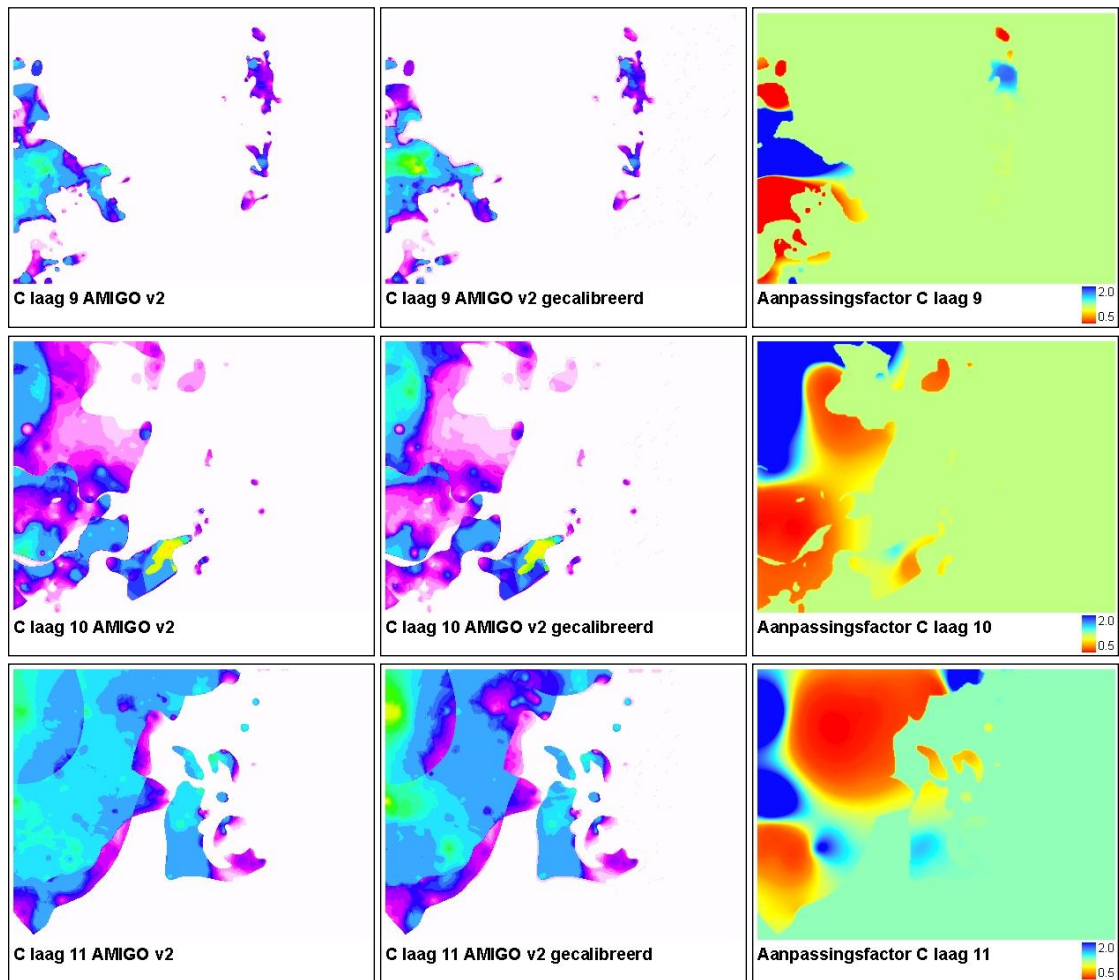
Onzekerheden

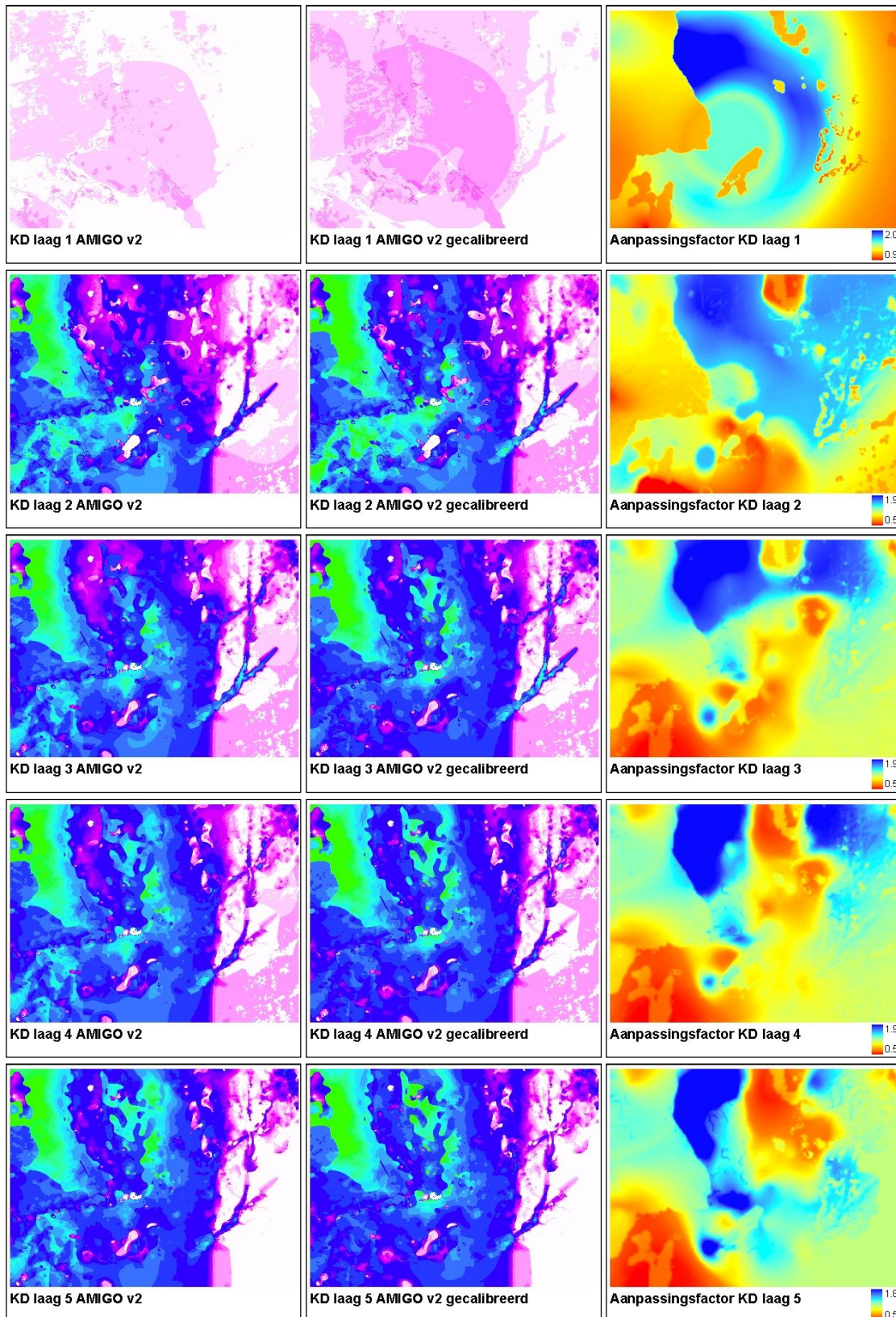
- 15 Wat zijn volgens u de belangrijkste onzekerheden die een rol spelen bij de besluitvorming rondom de maatregel?
16. Op welke wijze gaat u om met (c.q. houdt u rekening met) deze onzekerheden?
17. Kunt u de verschillende typen onzekerheden scoren op belangrijkheid voor u (1 = niet belangrijk, 2 matig belangrijk, 3 belangrijk, 4 heel belangrijk)
- ☐ Zeespiegelstijging
 - ☐ Weersextremen
 - ☐ Sociaal economische ontwikkelingen
 - ☐ Onduidelijkheid of onenigheid over beleidsoelen
 - ☐ Onduidelijkheid of onenigheid over de effectiviteit van maatregelen
 - ☐ Zoutgevoeligheid gewassen
 - ☐ Onzekerheden in de modellen qua data (invoer) en/of modelconcepten
 - ☐ Andere onzekerheden door de respondent genoemd
18. Hoe zou er over deze onzekerheden gecommuniceerd dienen te worden?

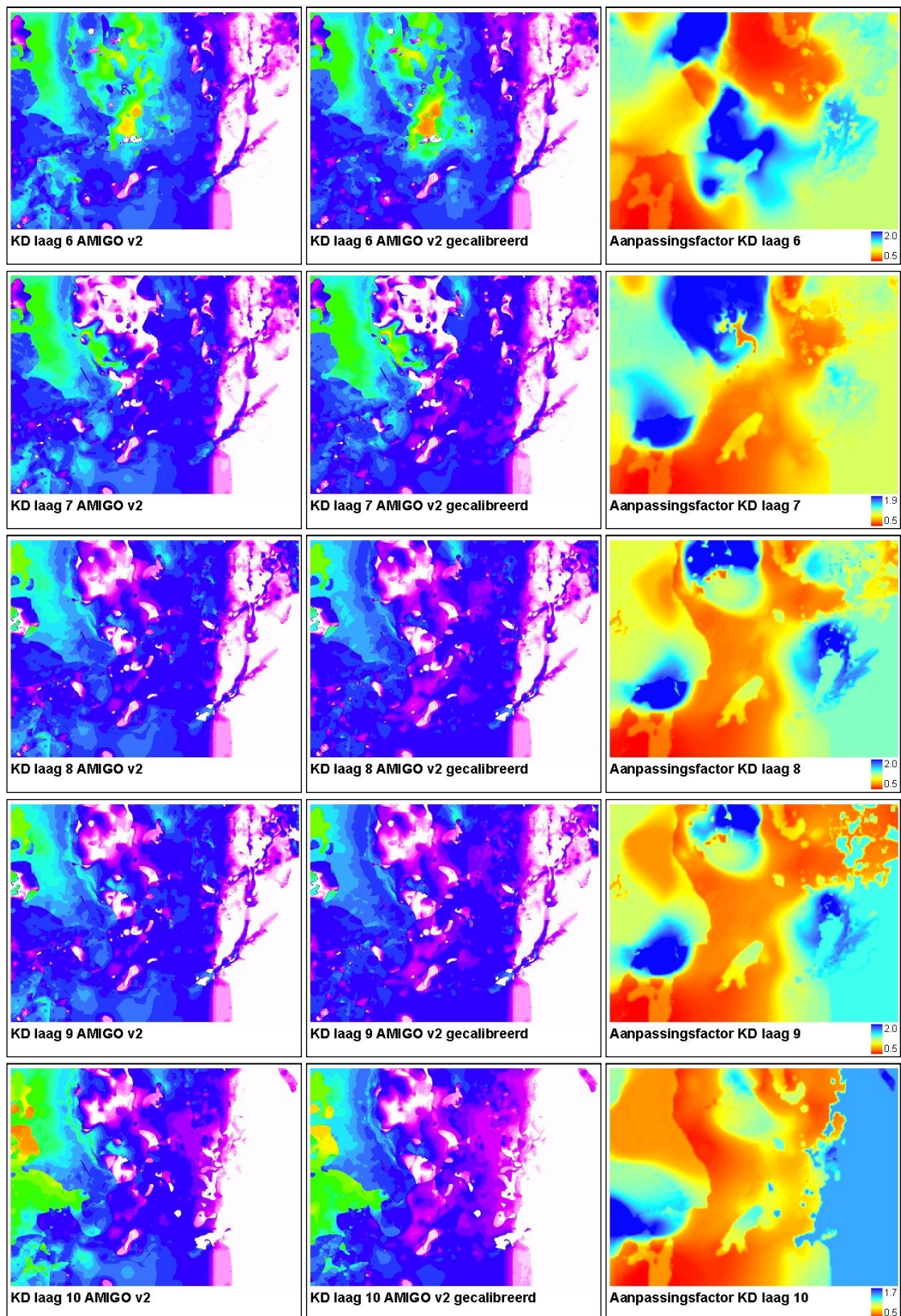
V Aanpassingen kD en C waarden AMIGO

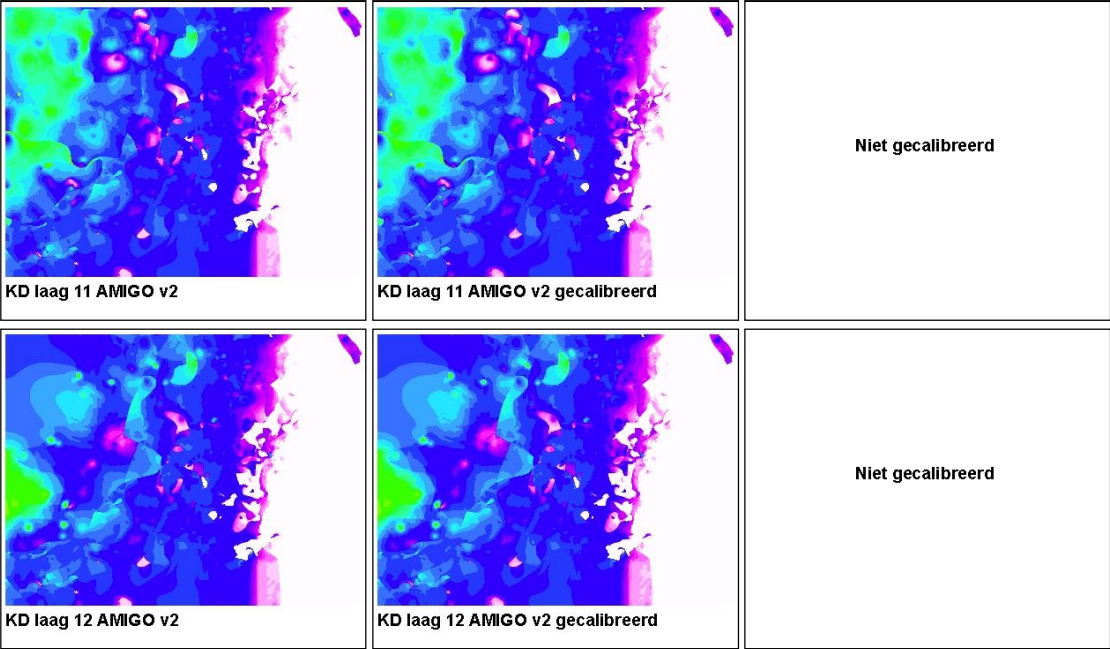










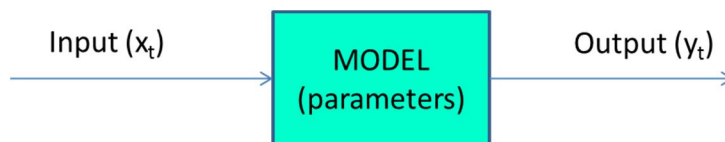


VI Overzicht typen onzekerheden

Het onderscheid in verschillende categorieën wordt geïllustreerd aan de hand van een zeer eenvoudig theoretisch voorbeeld. Het gaat hierbij uitsluitend om de categorieën onzekerheid die samenhangen met de modelleerketen. Onzekerheden als gevolg van bijvoorbeeld perceptie van stakeholders wordt hier buiten beschouwing gelaten.

Enkelvoudig model

Een (dynamisch) model is een transformatie van input variabelen naar output variabelen (zie figuur 1).



Figuur 1. Schematische voorstelling van een model.

De transformatie vindt plaats door middel van een set van vergelijkingen die gebaseerd zijn op fysische of statistische wetmatigheden. Deze vergelijkingen bevatten parameters, die de eigenschappen van het systeem beschrijven en worden aangestuurd door drijvende krachten (bij differentiaalvergelijkingen vaak randvoorwaarden genoemd).

Beschouw het scalaire model:

$$y_t = ax_t \quad (\text{A.1})$$

Hierin is:

- y_t de output variabele (het resultaat van de modelberekening)
- a een modelparameter (de eigenschap van het systeem)
- x_t de input parameter (de drijvende kracht achter de dynamiek van y_t)

Voor de gedachtenbepaling zou je kunnen denken dat y_t de grondwaterstand is op een bepaalde locatie gedreven door de neerslag x_t . Stel nu dat we met model (1) een voorspellingen doen. Dan kunnen we vier categorieën onzekerheid onderscheiden:

- de parameteronzekerheid
- de input onzekerheid
- modelconcept onzekerheid

Daarnaast speelt het effect van calibratie op de onzekerheid een rol.

Parameter onzekerheid

Als de beste schatting van de parameter in model 20 is, is de voorspelling:

$$y_t = 20x_t \quad (\text{A.2})$$

Als uit de onzekerheid in de parameterschatting ± 5 is, volgt voor de onzekerheid van de voorspelling:

$$y_t = 20 \pm 5x_t \quad (\text{A.3})$$

Als de onzekerheid is gegeven zoals in (A.3), is doorgaans de impliciete veronderstelling dat de werkelijke waarde zich ergens in het interval 15 – 25 bevindt. Vaak wordt daarbij een statistische kansverdeling aangenomen, zoals normaal verdeeld, lognormaal verdeeld, uniform verdeeld, enz. In sommige gevallen is er echter geen sprake van een continue verdeling. Bijvoorbeeld als er onzekerheid bestaat over het al of niet aanwezig zijn van een kleilens in de ondergrond (de lens is er wel of hij is er niet). De onzekerheid kan in dit soort gevallen het best worden behandeld als een genest systeem. Op het hoogste niveau hebben we òf situatie 1 òf situatie 2. Op het tweede niveau heeft elke situatie een eigen kansverdeling. We spreken dan van een bi-modale kansverdeling. Bijvoorbeeld de parameter a van model (1) heeft 40% kans op de situatie $a=25\pm 4$ en 60% kans op een situatie $a=17\pm 2$. Het voorspellingsmodel wordt dan:

$$y_t = \gamma(25 \pm 4)x_t + (1 - \gamma)(17 \pm 2)x_t \quad (\text{A.4})$$

De kansverdeling van de coëfficiënt γ is: 40% $\gamma = 1$, 60% $\gamma = 0$.

Merk op dat bij het bi-modale voorbeeld de waarde $a=20$ niet mogelijk is!

Input onzekerheid

Met het model (A.1) kan een voorspelling worden gemaakt als er een schatting is voor de toekomstige waarden van x_t . Dit houdt in dat we een voorspelling voor de input x_t moeten gebruiken en die voorspelling zal een onzekerheid hebben, bv: $(x_t \pm \Delta x_t)$. Dit zijn bijvoorbeeld de klimaatscenario's van het KNMI. De voorspelling met het model (1) is eenvoudig:

$$y_t = 20(x_t \pm \Delta x_t). \quad (\text{A.5})$$

De impact van verschillende scenario's voor de input, gecombineerd met parameteronzekerheid kan worden beschreven door combinatie van (A.4) en (A.5):

$$y_t = \{\gamma(25 \pm 4) + (1 - \gamma)(17 \pm 2)\}(x_t \pm \Delta x_t) \quad (\text{A.6})$$

Modelconcept onzekerheid

Bijna alle modellen zijn een simplificatie van de werkelijkheid, als gevolg van linearisatie, schematisatie, verwaarlozing hogere orde effecten enz. Als we het werkelijke gedrag willen voorspellen, levert dit een onzekerheid op, ook al hebben de modelparameters zelf geen fout, en is de input exact bekend. Om de volledige werkelijkheid te beschrijven is dus een uitbreiding nodig:

$$y_t = ax_t + \varepsilon_t \quad (\text{A.7})$$

De term ε_t is de modelfout en representeert alles wat niet met het model beschreven kan worden en kan in de praktijk zeer ingewikkeld zijn. Vaak is het nauwelijks aan te geven hoe groot de modelfout is. Wel kan een schatting van de statistische kansverdeling worden gemaakt als 'restproduct' van de Kalibratieprocedure. Meestal wordt met de calibratie gepoogd om de verwachtingswaarde (gemiddelde) van de modelfout nul te maken. We willen namelijk liefst geen systematische over- of onderschatting. Net als bij de parameteronzekerheid is het zeer goed mogelijk dat de modelfout multi-modaal is, bijvoorbeeld als er een aantal discrete mogelijkheden is.

Als de modelfout onafhankelijk is van de parameteronzekerheid en de inputonzekerheid, is de onzekerheid van een voorspelling redelijk eenvoudig bepalen. Als er wel correlatie is tussen de onzekerheidsbronnen, dient daar rekening mee gehouden te worden.

Voorbeeld: Stel in het model (1) is een lineaire benadering van een kwadratisch proces. Het werkelijke proces is:

$$y_t = ax_t + bx_t^2 \quad (\text{A.8})$$

De lineaire benadering is alleen geldig op een beperkt interval. De parameter a wordt gekalibreerd binnen dit beperkte interval. Bij een ander interval zal de linearisatie leiden tot een andere waarde van de parameter a . Daarom kunnen grote fouten optreden bij extrapolatie naar andere situaties.

Calibratie

Als er over een bepaalde periode naast de waarden van x ook metingen van de output variabele y_t beschikbaar zijn, kan het model gekalibreerd worden. Het voert te ver om hier alle ins en outs van modelkalibratie te behandelen, maar het doel ervan is om de onzekerheid in de parameterwaarden terug te brengen, en zo mogelijk de modelfout te minimaliseren. Als we voor de calibratie starten met een initiële schatting $a=20\pm5$, dan kan het effect van de calibratie zijn dat we na de calibratie de schatting hebben $a=21\pm2$.

Met modelkalibratie kan dus een deel van de initiële parameteronzekerheid worden gecompenseerd. Dit is bijvoorbeeld belangrijk om het effect te bepalen van onzekerheid het ondergrondmodel (GeoTOP) in de verdere modelketen.

Er zijn bij de calibratie onzekerheid drie belangrijke opmerkingen te maken:

De gekalibreerde parameterwaarde is de best mogelijke schatting gegeven dat het modelconcept juist is. Bij een beter modelconcept horen meestal andere parameters.

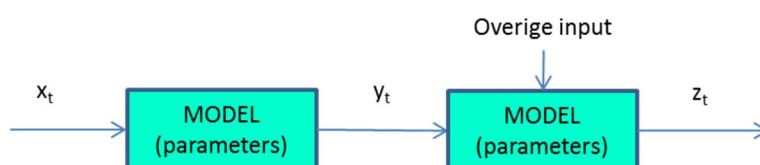
De waarden van de outputvariabele y_t die voor calibratie worden gebruikt, zijn doorgaans metingen met een meetfout. Bovendien kan er een verschil optreden als gevolg van een schaalverschil tussen meting en model. Het doel van de calibratie is om een initiële parameterschatting te verbeteren. Echter, als de meetfouten en/of de schaalverschillen niet voldoende worden onderkend, kan dit leiden tot sub-optimale parameterwaarden, of zelf tot een verslechtering van de initiële parameterwaarden.

De onzekerheid als gevolg van de voorspelling van de input kan niet worden verkleind door calibratie van het model.

Modelketens

Als we meerdere modellen in een keten gebruiken zijn er twee mogelijkheden: de output variabele van model 1 is de input variabele bij model 2 (figuur 2)

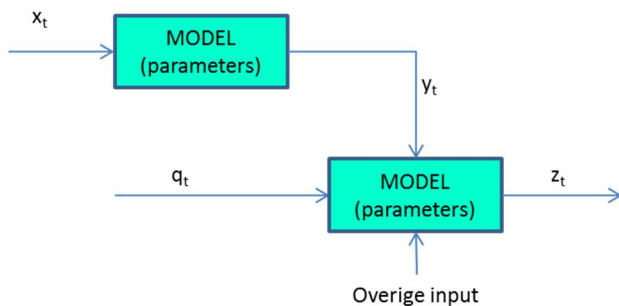
$$z_t = by_t \text{ met } y_t = ax_t \quad (\text{A.9})$$



Figuur 2. Output model 1 is input model 2

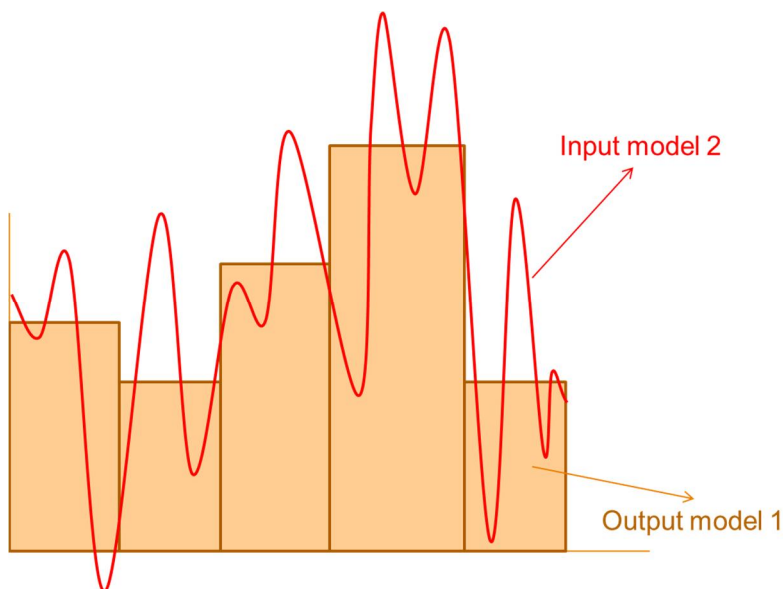
De output variabele van model 1 is parameter van model 2, waarbij q_t de input variabele is van model 2 (figuur 3).

$$z_t = y_t q_t \text{ met } y_t = a x_t \quad (\text{A.10})$$



Figuur 3. Output model 1 is parameter model 2.

Naast de aspecten die hiervoor zijn behandeld voor een enkelvoudig model, kunnen bij een modelketen ook fouten (onzekerheden) optreden als gevolg van vervorming van de informatie met name door schaling (conversie fouten). Stel dat model 2 op een kleinere schaal werkt dan model 1, dan zal de variabele y_t moeten worden neergeschaald (zie figuur 4). 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 ten dele uitgemiddeld.



Figuur 4. Schaalverschil tussen twee modellen.

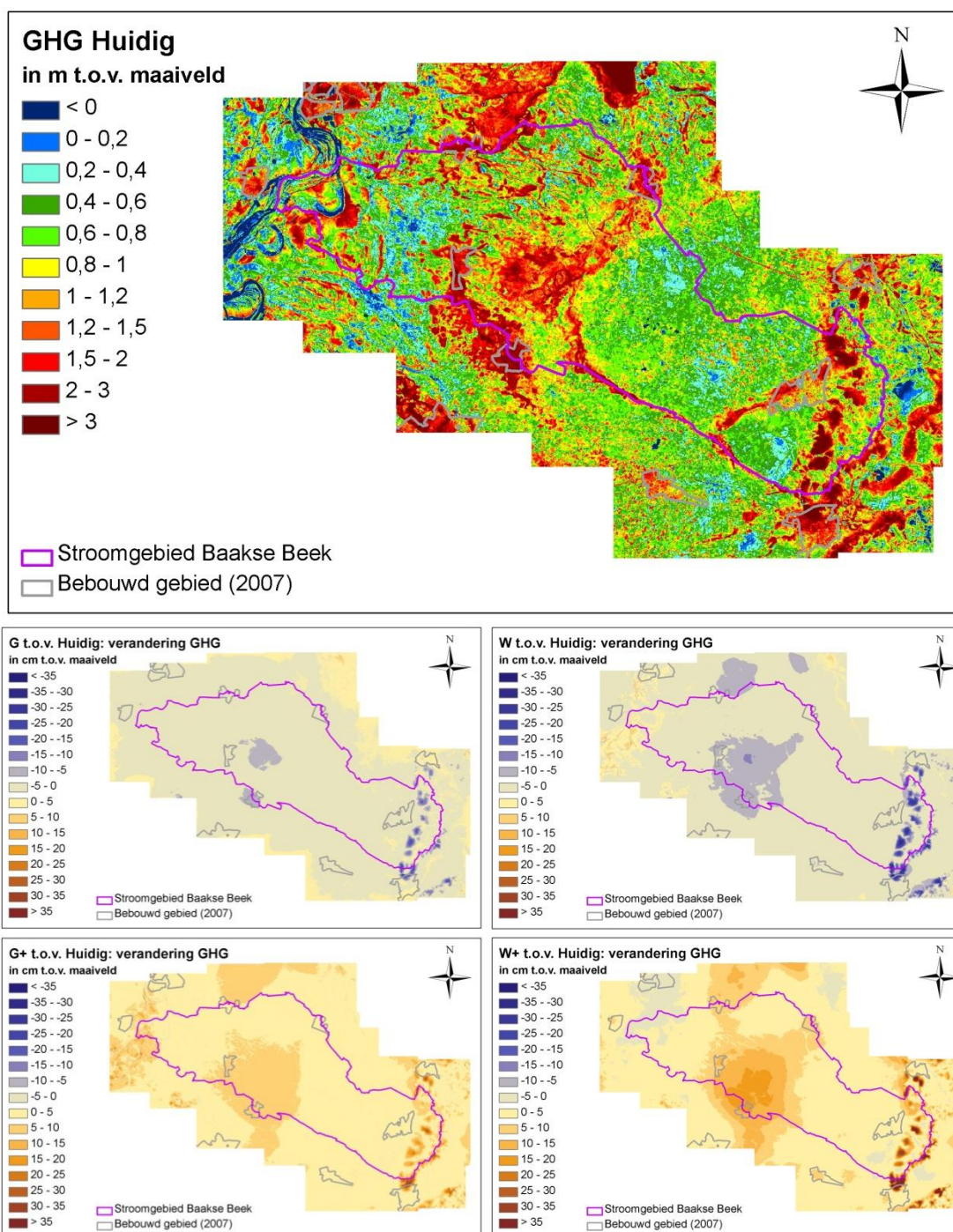
Een bijzonder geval doet zich voor als de input voor model 1 (ten dele) hetzelfde is als voor model 2, bijvoorbeeld:

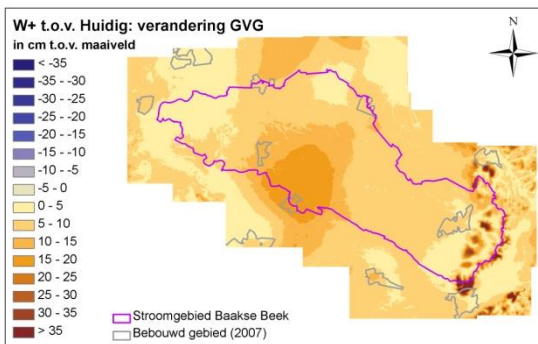
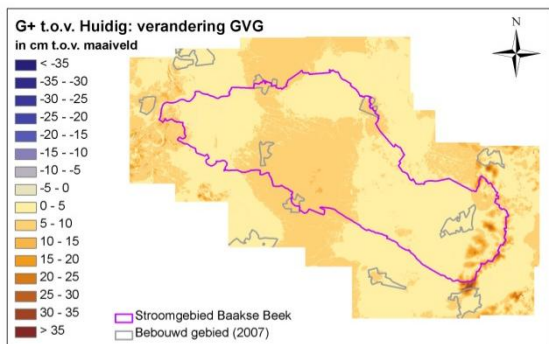
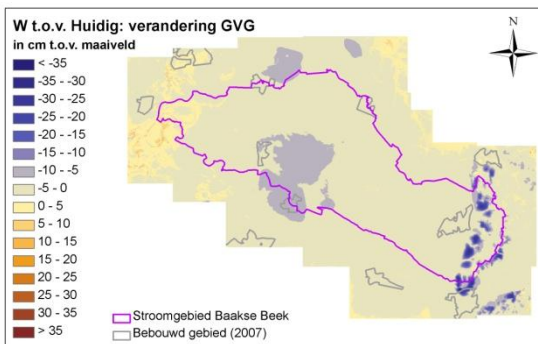
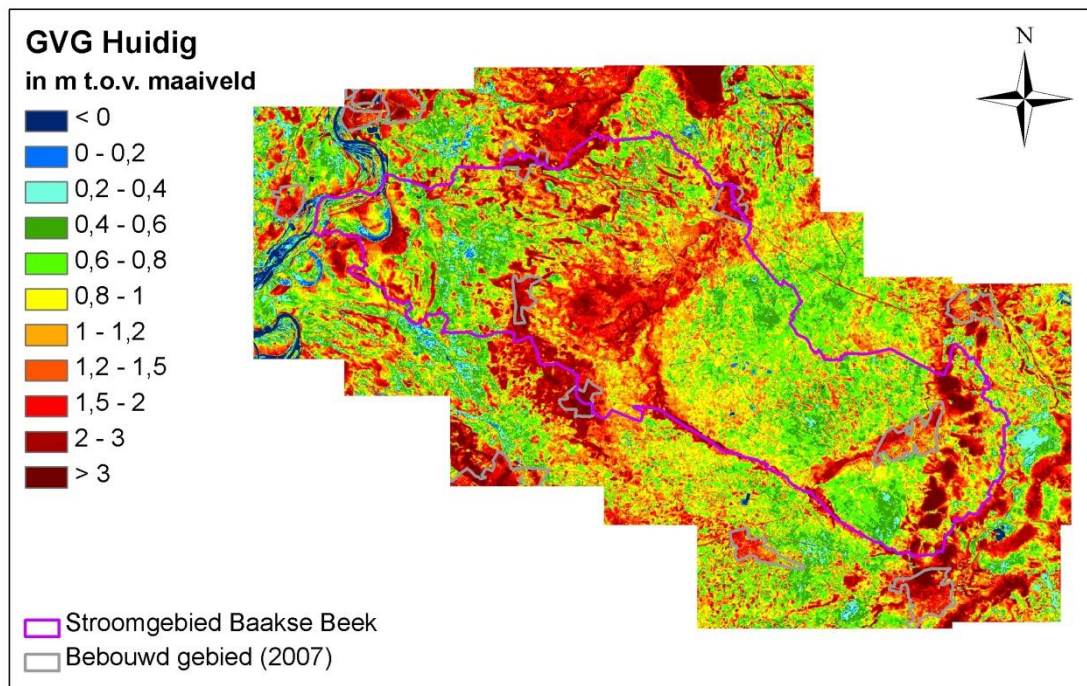
$$z_t = y_t x_t \text{ met } y_t = a x_t \quad (\text{A.11})$$

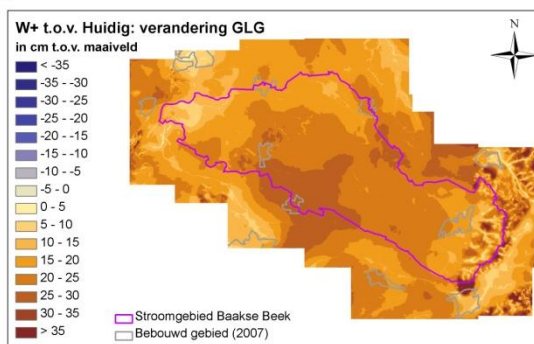
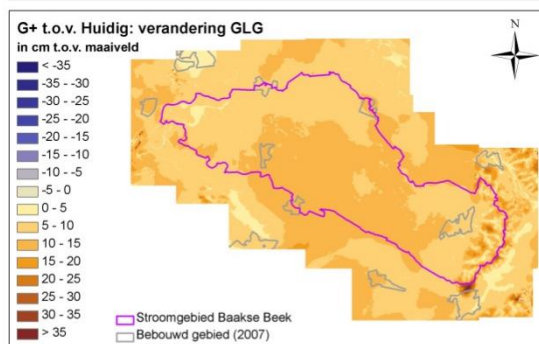
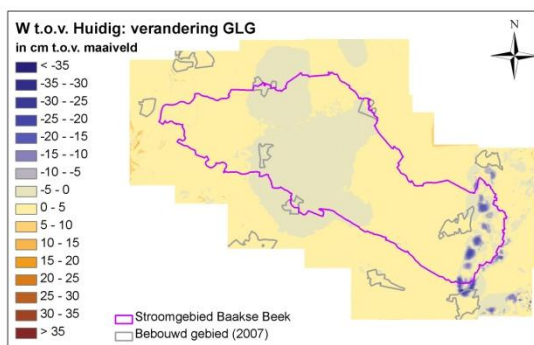
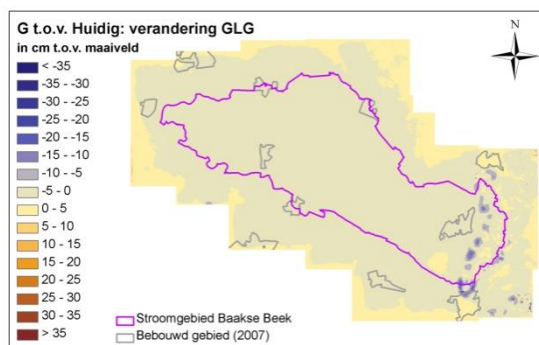
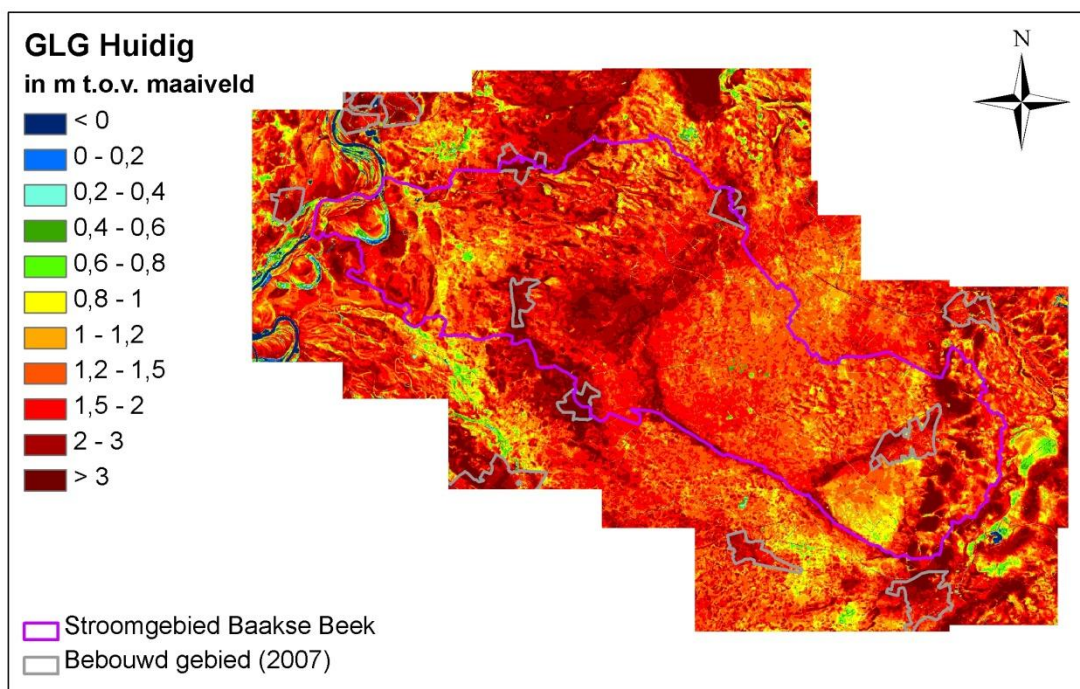
Als we met de modelketen (A.10) een voorspelling gaan doen moeten we rekening houden met de correlatie tussen x_t en y_t . Voor een bepaald scenario wordt eerst y_t gegenereerd. Vervolgens moet z_t met dezelfde waarden van x_t worden gegenereerd bij y_t . De

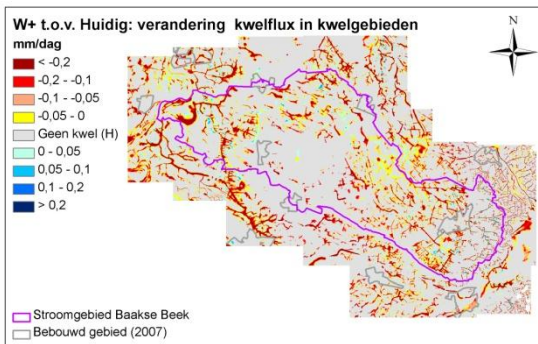
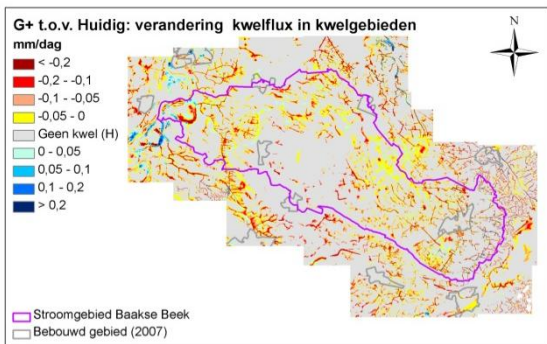
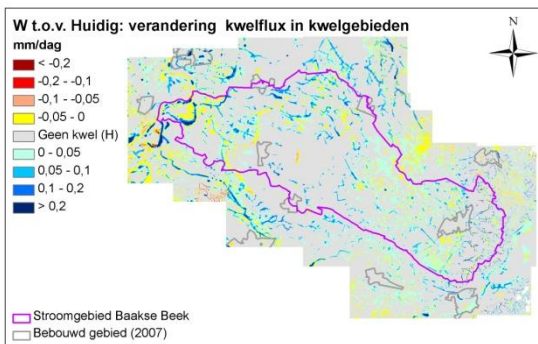
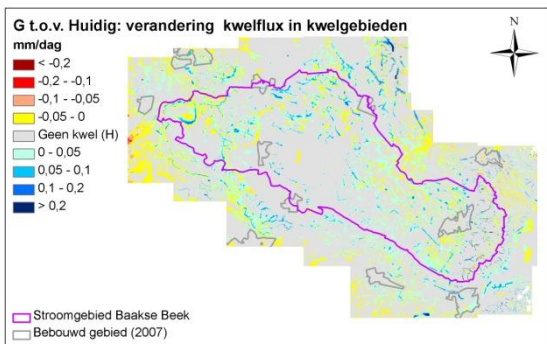
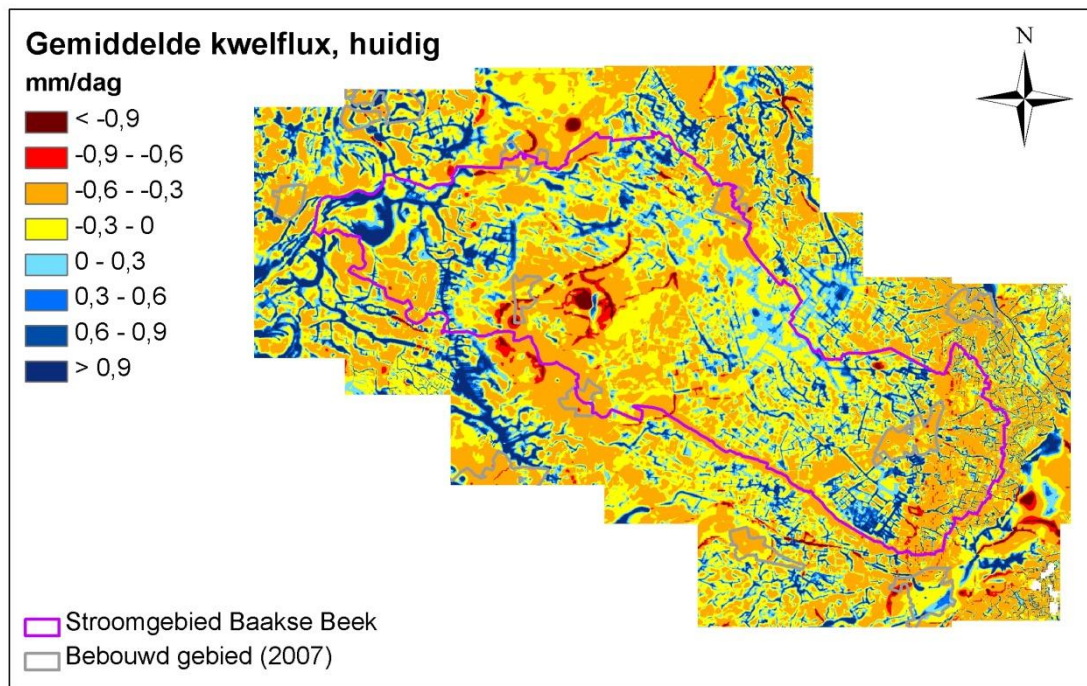
onzekerheidsanalyse kan dan niet plaatsvinden door de modellen 1 en 2 los van elkaar te beschouwen. Deze situatie doet zich voor als een bepaald klimaatscenario wordt gebruikt om een voorspelling te maken voor het hydrologische model. Een gewasopbrengstmodel zal vervolgens zowel gebruikmaken van de grondwaterstand en vochtgehalte in de onverzadigde zone als van het klimaatscenario.

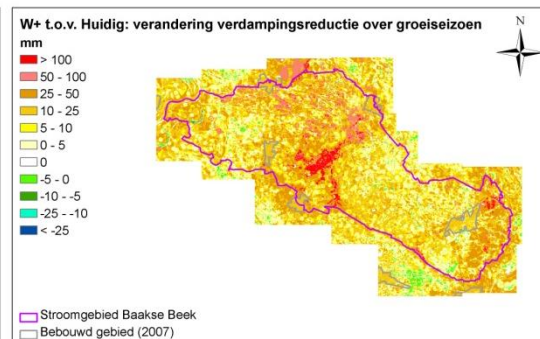
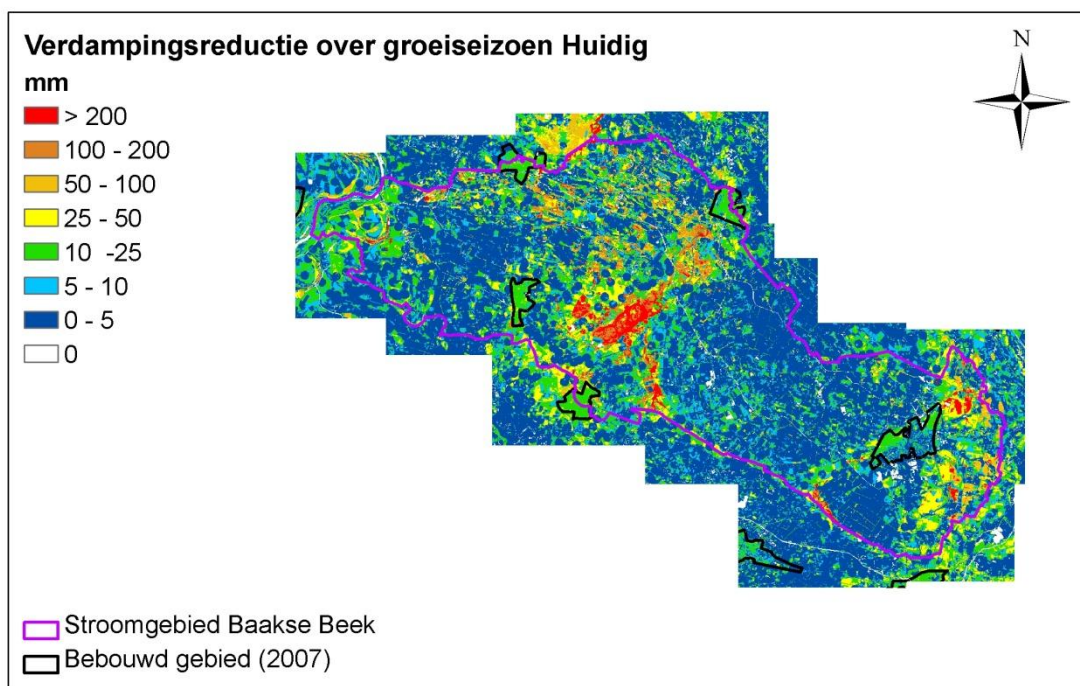
VII Hydrologische uitkomsten klimaatscenario's











VIII Uitkomsten Mini-Check PBL Leidraad

Onderwerp 1: Probleemafbakening

Leidraad Checklist Verdieping  Mijn verslag

Probleemafbakening	●
Stakeholders	●
Graadmeters	●
Kennis en methoden	●
Onzekerheden	●
Communicatie	●

We besteden in onze assessment aandacht aan:

- eventuele andere visies op het probleem dan die van de opdrachtgever (inclusief onze eigen visie),
- de verwevenheid met andere problemen,
- de mogelijk relevante aspecten van het probleem die in de onderzoeksvraag buiten beschouwing zijn gelaten,
- de verwachte rol van de resultaten in het beleidsproces en
- de relatie met voorgaande studies op dit gebied.

☒ Grotendeels ☐ Gedeeltelijk ☐ Nauwelijks

Centraal staat de vraag of we de samenhang tussen waterhuishouding en de functies natuur en landbouw voldoende goed kunnen simuleren in relatie tot de problemen in het stroomgebied Baakse Beek. Dit betreft zowel de problemen die nu al worden ervaren met watertekort (verdroging) en wateroverlast (vernating), als ook hoe deze veranderen door klimaatverandering. Gerelateerd daaraan is ook de vraag naar belangrijke onzekerheden en gevoeligheden in de modellen en data relevant, evenals de vraag naar de betrouwbaarheid en plausibiliteit van de modellen en hun resultaten. Ook is van belang of en hoe we de informatiebehoefte van de stakeholders kunnen bedienen.

Zaken die in de studie niet worden meegenomen zijn bijv. grondwaterkwaliteit, gewaskwaliteit, veranderingen in landgebruik, veranderingen in vegetatiebeheer, natuur-effecten voor flora en fauna in beek (we richten ons op terrestrische vegetatie), overstromingsrisico's. Effect van klimaatverandering (en mest) op bodem en grondwaterkwaliteit wordt ook niet beschouwd. Ook worden er geen economische analyses van effecten op landbouw verricht, noch andere maatschappelijke kosten-baten analyse.

Uiteraard is er verwevenheid met andere problemen in het gebiedsproces (sociaal economische aspecten, landschap) en thema's als verzuring, vermessing en versnippering maar deze worden niet meegenomen bij het modelinstrumentarium en de klimaatscenario's. Ook is aangesloten bij het vigerende gebiedsproces, in het verlengde van de activiteiten die al in het kader van het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat geïnitieerd zijn.

Onderwerp 2: Stakeholderbetrokkenheid

Leidraad Checklist Verdieping  Mijn verslag

Probleemafbakening	●
Stakeholders	●
Graadmeters	●
Kennis en methoden	●
Onzekerheden	●
Communicatie	●

We hebben een goed beeld van:

- de relevante stakeholders,
- hun visies en rollen ten aanzien van het probleem en
- de probleemaspecten waar ze het niet over eens zijn.

Op basis van dit alles hebben we een keuze gemaakt *of, waarom, waarbij* (probleemdefinitie, kennisvergaring, review), *wanneer* (aan begin, tijdens, na afloop) en *hoe* we *welke* stakeholders moeten betrekken bij deze assessment.

☒ Grotendeels ☐ Gedeeltelijk ☐ Nauwelijks

Bij dit NMDC-project heeft vanaf het begin voorop gestaan dat het van belang is om modelresultaten en onzekerheden zodanig te presenteren dat de resultaten beter aansluiten bij de informatiebehoefte van de waterbeheerders en andere belanghebbenden. Bij de aanvang van het project was de belangrijkste bron over de informatiebehoefte afkomstig van

de recente Kennis voor Klimaatstudie 'Klimaatadaptatie droge rurale zandgronden'. Hieruit bleek dat de aandacht van stakeholders op het gebied van klimaatverandering en de effecten op c.q. adaptatiemaatregelen voor water, natuur en landbouw voor de Baakse Beek vooral uitging naar: herstellen sponswerking als maatregel tegen droogte, dimensionering waterlopen aanpassen, aanwijzen van bergingsgebieden voor wateroverlast benedenstrooms, waterbergen op natte voor landbouw niet interessante gronden, robuust EHS/lint van natte bossen, welke natuurdoelen passen bij W/W+ klimaatscenario's, hoe communiceer je adaptatie maatregelen, wat kan men nu al doen (no regret maatregelen).

Voortbouwend op de resultaten van deze studie, en rekening houdend met het bestaande gebiedsproces is in het kader van deze NMDC-studie in het tweede en derde kwartaal van 2011 een nadere stakeholderanalyse uitgevoerd om een helder en specifiek beeld te krijgen van hun informatiebehoefte in relatie tot de waterhuishouding van het stroomgebied Baakse beek. Hierbij is de stakeholders ook gevraagd naar hun 'percepties' ten aanzien van wateroverlast en -tekort in het stroomgebied en de invloed die klimaatverandering en andere onzekerheden hierop hebben. Ook konden ze aangeven over welke onzekerheden ze meer inzicht wensten, en in welke vorm. Dit alles is van belang om te bekijken of en hoe de modelinstrumenten kunnen worden ingezet om op die behoefte aan te sluiten. Resultaten van stakeholderbevraging staan in hoofdstuk 3 en paragraaf 6.4 vermeld. Tijdens de laatste fase van het project is via een bijeenkomst met de stakeholders teruggekoppeld wat de bevindingen van het projectteam waren met het operationaliseren en toepassen van het modelleninstrumentarium voor de Baakse Beek, en is besproken in welke mate de resultaten en inzichten aansluiten bij hun informatiebehoefte.

Onderwerp 3: Graadmeterkeuze

Leidraad

Checklist

Verdieping

Mijn verslag

Probleemafbakening	●
Stakeholders	●
Graadmeters	●
Kennis en methoden	●
Onzekerheden	●
Communicatie	●

We kunnen de keuze voor de gebruikte graadmeters en hun samenhang goed onderbouwen, hebben alternatieven overwogen en gaan in de rapportage in op de beperkingen van het gebruik van deze graadmeters voor dit probleem; we kennen het draagvlak in wetenschap en maatschappij (inclusief besluitvormers/ politici) voor het gebruik van deze graadmeters.

☒ Grotendeels ☐ Gedeeltelijk ☐ Nauwelijks

Graadmeters die betrekking hebben op waterbeschikbaarheid, natuurkwaliteit en gewasopbrengst hebben de primaire aandacht in deze studie.

- Voor water betreft dit gedetailleerde informatie over het verloop van grondwaterstanden en afgeleiden (GXG-kaarten), kwelflux over de eerste scheidende laag, vochtgehalten onverzadigde zone, en capillaire opstijging/wegzijging. Met het oog op de effectmodellering (op landbouw, natuur) kan de vraag gesteld worden of de GVG (Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand) een goede (klimaatrobuuste) maat is voor de vochthuishouding tijdens de kiemingsperiode. Opwarming leidt tot een vervroeging van het groeiseizoen, en tot een sterkere verdamping met gevolgen voor de vochtvoorraad in de wortelzone. Ook zijn er verschillende methoden om de GVG af te leiden. Enerzijds kan hij bepaald worden op basis van grondwaterstands-waarnemingen in het voorjaar (van half maart tot half april), anderzijds is het ook mogelijk om hem in te schatten op basis van een empirische relatie met GHG en GLG als invoerparameters. De mate waarin deze empirische relatie ook bij andere klimaatcondities adequaat is blijft de vraag.
- Voor natuur zijn het uitspraken over het voorkomen en de aard van standplaatscondities voor terrestrische vegetatie, potentieel voorkomen van terrestrische vegetatie en natuurbehoudswaarde per rekencel, biomassa en nutriënt- gehalten (N, P, K). Er worden in de praktijk verschillende natuurwaarderingmethoden gehanteerd, die vaak heel verschillende beelden kunnen opleveren. In een recente kritische studie (Witte et al. 2011) worden een twaalfstal methoden voor kwantitatieve waardering van

vegetatieopnames onderling vergeleken en ook vergeleken met de inschatting van deskundigen. De GLD-methode (Gelderland-methode) die we ook in onze studie gebruiken om natuurbehoudswaarde weer te geven kreeg de meeste instemming van de deskundigen.

- Voor landbouw wordt als graadmeter voor gewasopbrengst de droge stof productie gehanteerd, in loop van de tijd (gras, aardappels) en per seizoen gesommeerd. Buiten beeld blijft wat de gewasopbrengst in economische termen (Euro's) is, evenals wat de gewaskwaliteit is. Dit valt buiten de scope van de gehanteerde modellen.

Bij de stakeholderanalyse kwam naar voren dat zij – qua graadmeters - met name ook geïnteresseerd zijn in risico-kaartbeelden, wat betreft droogte- en natschade-gevoeligheid van gebieden/percelen, overstromingsrisico's, invloed op gewasopbrengst en natuurwaarde. Het is echter, gegeven de gekozen resolutie en de beschikbare basis-gegevens en modelinstrumenten, nu nog niet altijd mogelijk om voor al deze issues informatie van de gewenste kwaliteit op die schaal te geven. Verdere ontwikkeling van het model instrumentarium en data kan dit in de toekomst nog meer onder handbereik brengen (zie ook hoofdstuk 7 met conclusies en aanbevelingen).

Onderwerp 4: Toereikendheid van beschikbare kennis en methoden

Leidraad

Checklist Verdieping Mijn verslag

Probleemafbakening	●
Stakeholders	●
Graadmeters	●
Kennis en methoden	●
Onzekerheden	●
Communicatie	●

We hebben de toereikendheid van de beschikbare kennis en methoden bepaald door vast te stellen:

- welke kennis en methoden nodig zijn om antwoorden van de vereiste kwaliteit te verkrijgen,
- wat de belangrijkste knelpunten en lacunes in de beschikbare kennis en methoden zijn en
- wat hun effect is op de kwaliteit van de resultaten.

In overleg met de (interne en externe) opdrachtgever hebben we besloten wat met deze knelpunten gedaan moet worden.

☐ Grotendeels
 ☒ Gedeeltelijk
 ☐ Nauwelijks

Uw motivatie of commentaar

De samenstelling van het projectteam is zodanig dat er voldoende kennis aanwezig geacht wordt over de afzonderlijke modellen, klimaatscenario's, stakeholderanalyse, visualisatie en onzekerheden om antwoorden van de vereiste kwaliteit te krijgen.

Knelpunten en kennishiaten liggen er op verschillende vlakken: enerzijds betreft dit het niet geheel op elkaar aansluiten van de modellen qua schaal en mate van detaillering, hetgeen verschalings nodig maakt met bijbehorende aannames en mogelijk informatieverlies; anderzijds betreft het ook de processen die wel en niet worden meegenomen bij de afzonderlijke modellen en scenario's, en de aannames die hierbij gemaakt zijn (bijv. geen of beperkte terugkoppeling tussen vegetatie en hydrologie; geen veranderingen in landgebruik; mate van homogeniteit van de ondergrond). Daarnaast hebben we ook te maken met pragmatische beperkingen (looptijd en projectbudget) waardoor beperkt onzekerheidsanalyses uitgevoerd konden worden (modelruns zijn tamelijk rekenintensief).

Het kwantificeren van eventuele effecten van kennishiaten op de modelresultaten vergt nader onderzoek. Om meer zicht te krijgen op aannames, beperkingen, kennishiaten is er daarom in het eindstadium van het project een expliciete analyse uitgevoerd van de aannames in de modelleerketen. Bevindingen van deze kwalitatieve onzekerheidsanalyse worden in paragraaf 6.8 vermeld.

Onderwerp 5: In kaart brengen en beoordelen relevante onzekerheden

Leidraad

Checklist **Verdieping** Mijn verslag

Probleemafbakening	●
Stakeholders	●
Graadmeters	●
Kennis en methoden	●
Onzekerheden	●
Communicatie	●

We hebben een duidelijk beeld van:

- het relatieve belang van statistische onzekerheid, scenario onzekerheid en erkende onwetendheid voor het betreffende probleem,
- de onzekerheden die het meest relevant zijn voor het probleem,
- de consequenties van deze onzekerheden voor de conclusies van deze assessment.

Op basis van dit alles en in overleg met de (interne en externe) opdrachtgever hebben we de relevante onzekerheden in kaart gebracht, beoordeeld en hun relevantie vastgesteld.

☐ Grotendeels ☒ Gedeeltelijk ☐ Nauwelijks

Tijdens de beginworkshop met de PBL Leidraad kwam men aan het bespreken van dit onderwerp nauwelijks toe. Van een aantal onderdelen (modellen) uit de keten was vanuit eerdere studies al informatie beschikbaar over onzekerheden (bijv. SMART-SUMO-NTM2 (Schouwenberg et al. (2000), Wamelink et al. (2011); WOFOST (Confalonieri R. et al. (2006)); SWAP (Baroni et al. (2010)). Echter, zolang de modelketen nog niet operationeel was en ermee gerekend kon worden, was het niet mogelijk om een beeld te krijgen van de effecten hiervan op de doelvariabelen die in de studie centraal stonden (waterbeschikbaarheid, natuurkwaliteit, gewasopbrengst). Bovendien voegt het gebruik van modellen in modelleerketens nog allerlei complicaties en onzekerheden toe die te maken hebben met verschalings van data, modelinputs en outputs om de verschillende onderdelen adequaat te koppelen.

Om deze zaken goed in beeld te brengen is een raamwerk voorgesteld voor het in kaart brengen van de belangrijkste onzekerheidsbronnen in een modelleerketen (bijlage VI). Dit raamwerk is de basis geweest om per onderdeel (c.q. model) van de keten de belangrijkste onzekerheden aan te duiden. In de paragrafen 6.5-6.7 zijn de resultaten hiervan besproken.

Onderwerp 6: Communicatie van onzekerheidsinformatie

Leidraad

Checklist **Verdieping** Mijn verslag

Probleemafbakening	●
Stakeholders	●
Graadmeters	●
Kennis en methoden	●
Onzekerheden	●
Communicatie	●

We hebben een duidelijk beeld van:

- de context van communicatie (waarom, naar wie, voor wie, wanneer, waar) en
- de robuustheid van de hoofdboodschappen.

We rapporteren op een heldere en op het publiek toegesneden wijze over:

- de beleidsrelevante onzekerheden en
- hun mogelijke gevolgen voor beleid, politiek en samenleving (welke consequenties hebben de onzekerheden in termen van potentiële effecten of risico's?).

Bij schriftelijke rapportages (bijv. persberichten, samenvattingen, hoofdrapport, bijlages, achtergrondrapporten) zorgen we voor een traceerbare en consistente weergave en onderbouwing van het gepresenteerde materiaal.

☒ Grotendeels ☐ Gedeeltelijk ☐ Nauwelijks

Dit onderwerp werd met name gezien in het licht van de terugrapportage aan de stakeholders die aan het eind van het project gepland was. Voor het projectteam stond in beginsel voorop dat bij deze terugrapportage zoveel mogelijk wordt aangesloten bij de vragen en informatiebehoefte die bij de stakeholderanalyse in het project naar voren zijn gekomen, en dat we duidelijk laten zien tot welke bevindingen en leerpunten het project geleid heeft. Dat hierbij bovendien helder wordt aangegeven welke uitspraken momenteel wel en niet gedaan kunnen worden met het instrumentarium, en welke gewenste uitbreidingen en uitdagingen er in de toekomst nodig en mogelijk zouden zijn om dit wel te doen.

IX Gross list onzekerheden modelketen

Uit documentanalyse en interviews met de modelleers is de volgende groslijst van aannames opgesteld, hier geordend naar de stappen in de rekenketen:

A. Van KNMI waarnemingsreeks en klimaatscenario's naar Baakse Beek meteo en neerslagreeksen

AA: [versimpeling] De range die wordt opgespannen door de gekozen scenario's (G en W+) voor de Baakse Beek casus dekt de onzekerheid en variabiliteit omtrent het klimaat rond 2050 voldoende af. (Hier onder ligt een hele reeks aannamen, ondermeer de aanname dat alle door IPCC beschouwde modellen bij elkaar een goede representatie geven van de onzekerheid; dat daarbij slechts de forcering becijferd via emissies van broeikasgassen beschouwd is. De veranderende uitstoot van fijnstof / c.q. aerosolen en de mogelijke invloed daarvan op mist, wolken en intensiteit van de zonnestraling, is buiten beschouwing gelaten. KNMI neemt aan dat de onzekerheid over de klimaatgevoeligheid afdoende is afgedekt in de IPCC analyses; Uitgangspunt voor de KNMI'06 scenario's was dat ze ongeveer 80% van $\Delta T_{\text{globaal}}$ van de IPCC range op zouden spannen; etc.). Het gebruik van slechts het G en W+ scenario in de Baakse Beek case zorgt mogelijk voor een incomplete opspanning van de gemodelleerde impacts, met name wat betreft extremen.

AB: [op/neerschaling] Onzekerheid door het gebruik van data van twee meteo stations en ca 30 neerslagstations voor hele Baakse Beek gebied: De **meteo** (met uitzondering van de neerslag) in een gridcel van Amigo en WOFOST is gelijk aan de meteo van het dichtsbijliggende van de twee meteo-meetstations in het Baakse Beekgebied. In elk van deze twee deelgebieden is de meteo (met uitzondering van de neerslag) ruimtelijk homogeen, maar de reeksen zijn naar KNMI aanneemt representatief voor de klimatologische variabiliteit en extremen in de tijd. De **neerslag** op dagbasis voor de historische reeks is door interpolatie tussen ca. 330 neerslagmeetstations, waarvan ca. 30 binnen het modelgebied, vergrid naar 1x1km zodanig dat per dag het percentage van het oppervlak van het gebied waar geen neerslag valt gelijk is aan het percentage stations in het gebied waar die dag geen neerslag is. De neerslag op dagbasis is binnen een 1x1km gridcel homogeen. De klimatologische variabiliteit en extremen van de tussengelegen punten zullen waarschijnlijk wel onderschat worden door de interpolatie.

AC: [versimpeling] De meetonzekerheid in de meteo stationsdata en neerslagstationsdata is buiten beschouwing gelaten.

AD: [op/neerschaling] Elk van de scenario's is vertaald in modificatiefactoren waarmee de historische reeksen van elk van de twee meteo-meetstations en elk van de ca. 330 neerslagmeetstations, waarvan ca. 30 in het Baakse Beekgebied, worden getransformeerd naar meteo en neerslagreeksen die consistent zijn met elk scenario. In de + scenario's verandert de transformatie de jaar-op-jaarvariatie van de neerslag iets, hoewel de scenario's hier niet expliciet iets over zeggen. Voor de andere scenario's wordt impliciet aangenomen dat de temporele en ruimtelijke variabiliteit in meteo en neerslag in de periode 2036-2065 gelijk is aan die in de periode 1981-2010. De toekomstige neerslagreeksen per neerslagmeetstation zijn weer vergrid naar 1x1 km (als bij aanname AB voor de historische reeksen).

AE: [niet meegenomen terugkoppeling] De feedback van de lokale vegetatie en hydrologie op de klimaatreeks is op deze tijdschaal (tot 2065) en ruimteschaal (Baakse beek gebied) waarschijnlijk verwaarloosbaar en daarom buiten beschouwing gelaten.

AF: [buiten beschouwing gelaten proces] De mogelijke invloed van veranderend landgebruik op het klimaat rond 2050 is niet beschouwd.

B. Van KNMI meteo- en neerslagreeksen naar lokale hydrologie: AMIGO

BA: [buiten systeemgrens gelaten factoren] Karakteristieken van het veranderende klimaat anders dan die in de KNMI reeksen zijn beschreven, zijn niet beschouwd voor hydrologie, schade aan gewassen en natuur (denk aan bijvoorbeeld bliksemschade, hagelschade, stortbuischade, vorstschade, aanvriezende mist en rijp, windworp, brand[brand zit wel als beheersmaatregel in SUMO2 maar niet als natuurverschijnsel]). Impliciet betekent dat dat is aangenomen dat deze factoren constant zijn in de tijd en niet wijzigen als het klimaat wijzigt.

BB: [buiten beschouwing gelaten terugkoppeling/ factoren die in het model constant gehouden zijn maar in werkelijkheid een functie zijn van andere factoren in het systeem] De mogelijke invloed van veranderend klimaat en daaraan gekoppelde veranderende hydrologie op de 3D structuur en hydrologische eigenschappen van de ondergrond is niet beschouwd. (De doorlaatbaarheid van de ondergrond Kh en Kv is in het model constant in de tijd en wijzigt niet als klimaat en hydrologie wijzigen, geen tippingpoints, permanente doorbraken in waterscheidende lagen, substantiële wijziging van de waterlopen, etc.).

BC: [vereenvoudigingen van de werkelijkheid] De doorlaatbaarheid van de ondergrond (Kh en Kv) is in het model zodanig beschreven dat deze homogener is dan deze in werkelijkheid is.

BD: [buiten beschouwing gelaten proces of koppeling] Feedbacks van hydrologie op vegetatiedek zijn buiten beschouwing gelaten (bij verdroging wijzigt het vegetatiedek in een meer open landschap, op de droge zandgrond zou dit de hydrologie wel beïnvloeden maar dat is niet meegenomen in de berekeningen).

BE: [buiten beschouwing gelaten proces of koppeling] In werkelijkheid wordt bij intense buien een kleinere fractie van de neerslag door interceptie vastgehouden en herverdamppt er verhoudingsgewijs minder door het vegetatiedek; er is dan een hogere aanvulling en snellere/hogere runoff. Het model houdt hier geen rekening mee.

BF: [buiten beschouwing gelaten proces of koppeling] Het landgebruik van het Baakse Beek gebied is in het model constant in de tijd; Ruimtelijke ontwikkelingen in het gebied vinden in het model niet plaats; het patroon van gebruik door de mens van het watersysteem wijzigt in het model niet.

BG: [buiten systeemgrens gelaten factoren] Er is tussen de scenario's geen verschil voor de uitwisseling onder de grond van grondwater met gebieden buiten de ruimtelijke systeemgrens van het Baakse Beek stroomgebied.

BH: [aannames samenhangend met upscaling en downscaling bij modelkoppeling] Neerslag en verdamping zijn in het model homogeen voor alle 25 bij 25 meter gridcellen van AMIGO binnen elk 1000*1000 meter grid van de KNMI scenario reeks (mismatch ruimtelijke schaal KNMI-reeks en AMIGO).

BI: [vereenvoudigingen van de werkelijkheid / buiten beschouwing gelaten proces of koppeling] Kwelstroom over de eerste scheidende laag naar de wortelzone is buiten beschouwing gelaten waardoor het mogelijke effect daarvan op de natuur niet is doorgerekend.

BJ: [buiten beschouwing gelaten proces of koppeling] Overstromingen langs de beek die op hun beurt de lokale grondwaterhydrologie wijzigen worden niet gemodelleerd.

BK: [buiten systeemgrens gelaten factoren] De factor "waterkwaliteit" is buiten beschouwing gelaten terwijl deze wel invloed heeft op de vegetatie en daarmee op de hydrologie en op de natuurkwaliteit en de gewasopbrengsten. Impliciet betekent dit dat aangenomen is dat de waterkwaliteit constant is in de tijd [in de hele modelketen].

BL: [buiten systeemgrens gehouden factor] De capaciteit van pompen gebruikt voor beregning is in het model in de toekomst hetzelfde als nu: grondwateronttrekking

door berekening is nu en in de toekomst maximaal 3 mm per dag. (Er wordt wel meer berekening gemodelleerd bij vaker optreden van droogte).

BM: [buiten beschouwing gelaten terugkoppeling] De mensen in het Baakse Beekgebied passen in het model hun landbouw en natuurbeheer niet aan aan het veranderende klimaat (er vindt geen autonome adaptatie plaats).

BN: [vereenvoudigingen van de werkelijkheid / buiten beschouwing gelaten terugkoppeling] De grondwater aanvulling in AMIGO is 40% van de beregeningsgift en deze fractie is constant in de tijd en onafhankelijk van het klimaat.

BO: [buiten beschouwing gelaten terugkoppeling] Er is geen terugkoppeling van door SMART2/SUMO2 gesimuleerde wijzigingen in het vegetatiedek op de hydrologie in AMIGO.

BP: [versimpeling] Als hydrologische begintoestand voor de jaren 1981 en 2035 wordt de stationaire waarde aangenomen die berekend is voor de periode 1994-2004.

C. Effecten op de landbouw: WOFOST

CA: [op/neerschaling] hydrologie 250x250m WOFOST grid naar 25x25m amigo grid: homogeen verdeeld; 25x25m Amigo naar 250*250m WOFOST door middeling;

CB: [versimpeling - aggregatie] voor elk gewas wordt een gemiddelde variëteit aangenomen. Van bijvoorbeeld aardappels zijn er minstens 5 variëteiten die bijvoorbeeld verschillen in of ze vroeg of laat in het seizoen gepoot worden.

CC: [versimpeling] Variatie in ruimte (met name verschil noordelijk en zuidelijk halfmond) en tijd (met name de seizoensvariatie binnen een jaar waarvan in werkelijkheid de amplitude sterk verschilt tussen noordelijk en zuidelijk halfmond) in de CO₂ concentratie zijn verwaarloosd: Aangenomen is dat de lokale CO₂ in een gegeven jaar gelijk is aan de wereldgemiddelde CO₂ in dat jaar zoals deze gegeven is in de IPCC scenario's en dat deze binnen een jaar niet varieert met de seizoenen.

CD: [buiten systeemgrens gehouden] Aangenomen is dat in Nederland stikstof geen beperkende factor is voor de groei van landbouwgewassen en dat dit ook in de toekomst zo blijft. Mogelijke effecten zoals dat bij hoge olieprijs kunstmest duur kan worden en invloed van beleid ten aanzien van toekomstige stikstof zijn in het model buiten beschouwing gelaten.

CE: [versimpeling] De invloed van CO₂ op de diverse parameters en variabelen in WOFOST is sterk vereenvoudigd in het model gestopt, met name door een effect op de transpiratie en een verhoging van de stralingsefficiëntie (fractie zonne-energie die het gewas vastlegt door de fotosynthese) van het gewas. Andere invloeden van CO₂ op groei en hydrologie zijn niet meegenomen.

CF: [constant gehouden] De gewaskaart en de gewas variëteiten zijn constant in de tijd (c.q. zijn in alle simulatie jaren gelijk). (De gewaskaart geeft per gridcel waar landbouw is aan welk gewas daar verbouwd wordt).

CG: [buiten systeemgrens gehouden] De invloed van klimaat en hydrologie op de kwaliteit van het gewas wordt niet beschouwd. Alleen de kwantiteit. Verwacht wordt overigens dat bij opwarming de gewaskwaliteit van sommige gewassen toeneemt (bijvoorbeeld granen) maar het model beschouwt dat effect niet.

CH: [constant gehouden] Verbetering in de teelttechniek en scholing van boeren is buiten beschouwing gelaten. Aangenomen is dat de teelttechniek niet verandert in de tijd. Dit leidt tot onderschatting van toekomstige gewasopbrengst.

CI: [constant gehouden] De bodemvruchtbaarheid is constant in de tijd.

CJ: [buiten systeemgrens gehouden] Markteffecten zitten niet in het model. Toe- of afname in gewasopbrengst kan vertaald in Euro's een totaal ander beeld geven. De verwachting is dat markteffecten klimaat afhankelijk zijn: onder verschillende klimaatscenario's kunnen markteffecten verschillend doorwerken in het gemodelleerde systeem (denk aan mislukte oogsten elders in de wereld).

D. Effecten op de natuur: SMART2-SUMO2

DA: [buiten systeemgrens gehouden] (ook voor WOFOST) Groeibeperkende factoren zoals ziektes, plagen en onkruiden vallen buiten het model en daarmee ook de terugkoppelingen zoals die van het veranderend stikstofgehalte (en daarmee eiwitgehalte) van de vegetatie op de aantrekkelijkheid voor begrazing door ondermeer insecten of het ontstaan van betere of slechtere klimaatcondities voor (plaag)insecten en grazers door opschuivende klimaatzones. Impliciet betekent dit dat aangenomen is dat deze groeibeperkende factoren constant zijn in de tijd en niet wijzigen als het klimaat wijzigt.

DB: [opschaling] Tussen AMIGO en SMART zit een voor het koppelen van de modellen noodzakelijke extra aggregatiestap waarin per dag de 'mineralisatie reductie factor' wordt berekend voor de invloed van vocht en pH op de mineralisatie van nutriënten uit humus. Per gridcel worden deze daggegevens voor vocht uit AMIGO gecombineerd met een jaargemiddelde pH uit SMART2 om per dag de mineralisatiereductiefactor te berekenen. Die wordt vervolgens geaggregeerd tot een jaargetal voor de mineralisatie reductie factor.

DC: [inconsistentie in schaalniveau/opschaling] De depositie van stikstof en zwavel is vanaf 2010 beschikbaar op een schaalniveau van 1x1 km, daarvoor op 5x5 km. Ten opzichte van de rekeneenheid (25x25m) is dit erg grof. Dit geldt in mindere mate ook voor de bodem en vegetatiekaarten.

DD: [versimpeling] De SMART2 SUMO2 berekening voor de Baakse Beek casus vereist als enige deelmodel ook een reeks voor de hydrologie voor de periode 2011-2035. Deze jaren zijn niet met AMIGO berekend maar verkregen door lineaire interpolatie tussen de hydrologie in het eind jaar van de historische reeks (2010) en het begin jaar van de scenarioreeks (2035).

DE: [modelkoppeling] Door de wijze van koppeling tussen AMIGO en SMART2/SUMO2 is er grote onzekerheid in de kwantiteit en kwaliteit van het water dat via de onderkant de wortelzone bereikt. De kwantiteit kan uit de gegevens van AMIGO afgeleid worden, maar dan missen we de laterale afvoer; de kwaliteit ontleent SMART2/SUMO2 aan een oude kaart. Voor de berekening van de pH (en daarmee de mineralisatie) zijn deze factoren van grote invloed.

DF: [buiten beschouwing gelaten terugkoppeling] Het effect van stijgende CO₂ concentratie op de efficiëntie van het watergebruik van de natuurlijke vegetatie is niet meegenomen in SMART2/SUMO2.

DG: [buiten beschouwing gelaten terugkoppeling] Het remmende effect van troposferisch ozon (fotochemische smog) op plantengroei is niet meegenomen in SMART2/SUMO2 en het CO₂-bemestingseffect wel, terwijl CO₂ en troposferisch ozon beide samenhangen met gebruik van fossiele brandstof. [toelichting: het is bijvoorbeeld denkbaar dat het CO₂-bemestingseffect tenietgedaan wordt door het remmende effect van meer ozon]

DH: [versimpeling] Voor de casus Baakse Beek ontbreken detailgegevens over het huidige beheer van de verschillende vegetaties, daarom is gewerkt met een hypothetisch aangenomen random verdeeld beheer (over de gridcellen met vegetatie) dat voor het hele Baakse Beek gebied wel zo is gekozen dat het consistent is met de landelijke voorschriften en het landelijk gemiddelde beheerpatroon voor het beheer per vegetatietype. Voor heide in het gebied is het beheer wel bekend en ontstaat door

- deze aanname mogelijk een kleine fout: op basis van luchtfotointerpretaties van heide in het Baakse Beek gebied is dit gecorrigeerd.
- DI: [versimpeling] Voor de casus Baakse Beek is aangenomen dat het beheerregime constant is in de tijd en daarmee is impliciet aangenomen dat het beheer onafhankelijk is van het klimaat (geen adaptatie).
- DJ: [versimpeling] SMART beschrijft de bodem als een enkele laag en op jaarbasis. Binnen die laag wordt de bodemchemie dus (vertikaal) homogeen en door het jaar homogeen (bijvoorbeeld: geen seizoensvariatie) verondersteld. (zie ook De Vries et al., 1989).
- DK: [niet meegenomen terugkoppeling] De terugkoppeling van de vegetatie effecten in SMART2/SUMO2 naar de hydrologie van AMIGO is buiten beschouwing gelaten.
- DL: [versimpeling] De gebruikte scenario's voor stikstofdepositie, NO_x, NH₃ en SO₂ lopen tot 2030. Voor de jaren 2030 - 2065 is aangenomen dat de stikstofdepositie en de zwaveldepositie constant blijven op het 2030 niveau. (Deze scenario's gaan uit van "current air quality legislation", de huidige beleidsvoornemens lopen tot 2030, onbekend is welk beleid voor de periode na 2030 wordt ingezet.)
- DM: [inconsistentie in scenario-aannamen] De scenarioreeks die de toekomstige CO₂ concentraties beschrijft is mogelijk inconsistent met de scenarioreeks die de toekomstige stikstofdepositie, NO_x, NH₃ en SO₂ beschrijft. De IPCC scenarios verkennen mogelijke toekomsten, de depositiescenario's nemen aan dat het afgesproken beleid ter verbetering van de luchtkwaliteit tussen nu en 2030 volledig wordt gerealiseerd ("current air quality legislation"), dat laatste is bij "A1-Fossil Intense" wellicht niet haalbaar.
- DN: [versimpeling] Seizoenseffecten op de vegetatie zoals via de verlenging van het groeiseizoen bij een opwarming van het klimaat zijn niet expliciet meegenomen in SUMO. Wel wordt de maximale groei hoger bij een hogere temperatuur.
- DO: [versimpeling] Mogelijke schade aan de vegetatie door droogtestress is niet meegenomen - met name geldt dit voor droogte stress door een droge periode binnen een jaar dat gemiddeld niet uitzonderlijk droog is. Doordat SMART SUMO op jaarbasis rekent ziet de vegetatie in SUMO alleen de jaargemiddelde grondwaterstanden en reageert daarop. Als er binnen een jaar grote verschillen in hoogste en laagste grondwaterstand zouden zijn, zou dat effecten op de vegetatie kunnen hebben die het model nu niet meeneemt of slechts via een sterk uitgedempt (jaargemiddeld) signaal meeneemt.
- DP: [missend proces] Mogelijke schade aan de vegetatie door zuurstofstress bij overstroomde vegetatie is niet beschouwd in het model.
- DQ: [versimpeling] Bij de vertaling naar natuurkwaliteit (P2E) is aangenomen dat stikstofbeschikbaarheid (hier: NO₃⁻) een goede proxy is voor het Ellenberg-indicatiegetal "nutriënten" (N-Ellenberg).
- DR: [versimpeling] Bij de vertaling naar natuurkwaliteit (P2E) is aangenomen dat de range van de laagste tot de hoogste pH die voorkomt in de Baakse Beek simulatieresultaten lineair geschaald kan worden naar de negenpunts ordinale Ellenberg indicatiegetallenschaal voor Zuurgraad (R-Ellenberg). Daarbij vallen de laagst voorkomende pH samen met indicatiewaarde 1 (zuur) en de hoogst voorkomende pH met indicatiewaarde 9 (basisch).
- DS: [niet meegenomen terugkoppeling] Het mogelijke effect van verschuivende klimaatzones op de uitkomsten van het natuurwaarderingsmodel (NTM) is niet meegenomen.