
Naar verbeterde schadefuncties voor de landbouw

Ruud Bartholomeus¹, Joop Kroes², Jan van Bakel³,
Mirjam Hack-ten Broeke⁴, Dennis Walvoort⁵ en Flip Witte⁶

Om veranderingen in het waterbeheer te vertalen naar landbouwopbrengsten zijn in Nederland drie methodes operationeel: de HELP-tabellen, de TCGB-tabellen en AGRICOM. Door de landbouw, de waterbeheerders en de waterleidingbedrijven is lang aangedrongen op een herziening van deze methodes (o.a. Van Bakel en Heijkers (2004)), omdat die verouderd zijn. Er is nu een eerste stap gezet naar een nieuwe, meer (klimaat)bestendige, methode. De agrohydrologische modelcode SWAP vormt in deze methode de kern voor het afleiden van schadefuncties. SWAP is daarbij uitgebreid met nieuwe of verbeterde modules voor de berekening van directe hydrologische effecten van natschade (zuurstofstress) en zoutschade.

Inleiding

Binnen het Nederlandse waterbeheer zijn zowel de HELP- en TCGB-tabellen als AGRICOM nuttige instrumenten gebleken. De HELP-tabellen (Van Bakel e.a., 2007; Werkgroep-HELP-tabel, 1987) zijn ontwikkeld om in landinrichtingsprojecten effecten van waterhuishoudkundige maatregelen op de opbrengst van landbouwgewassen vast te stellen en geven veeljarig gemiddelde schades weer. Zo worden de tabellen door waterschappen gebruikt bij het optimaliseren van het waterbeheer. Voor het berekenen van opbrengstdepressies als gevolg van permanente grondwaterwinningen gebruikt de ACSG de TCGB-tabellen (Bouwman, 1990). De tabellen lijken op de HELP-tabellen, maar geven een gedetailleerder inzicht in opbrengstderving en zijn alleen geldig voor grasland op zandgronden. Rijkswaterstaat gebruikt voor de landelijke verkenning zoetwatervoorziening het model AGRICOM. AGRICOM (Van Bakel e.a., 2009) is een agro-economisch model dat op basis van de resultaten van een hydrologisch modelkosten en baten voor de landbouwsector berekent. AGRICOM is in gebruik voor landelijke analyses als nabewerking op het NHI.

¹ KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein (ruud.bartholomeus@kwrwater.nl)

² Alterra Wageningen UR, Wageningen (joop.kroes@wur.nl)

³ De Bakelse Stroom, Wageningen (jan.van.bakel@hetnet.nl)

⁴ Alterra Wageningen UR, Wageningen (mirjam.hack@wur.nl)

⁵ Alterra Wageningen UR, Wageningen (dennis.walvoort@wur.nl)

⁶ KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein; Vrije Universiteit Amsterdam (flip.witte@kwrwater.nl)

De bestaande landbouwschadetabellen zijn inmiddels echter verouderd. Zo is de bepaling van nat- en droogteschade met de HELP-tabellen gebaseerd op verouderde meteorologische gegevens en ervaringen uit de landbouwpraktijk van toen. Ze geven alleen langjarig gemiddelde schades, terwijl er interesse is in de variatie van de schade in de tijd. Zoutschade is bovendien niet of slechts beperkt in de methodes verwerkt. Bovendien zijn de HELP- en TCGB-tabellen ongeschikt voor toepassing in het steeds grilliger klimaat van de nabije toekomst (Van Bakel en Van den Eertwegh, 2011) en de daarbij behorende veranderingen in het waterbeheer. Er is daarom behoefte aan een verbeterde bepaling van landbouwschade, zoals ook betoogd in het Kennisprogramma Deltaproof (STOWA, 2010) en in een eerder uitgevoerde inventarisatie naar de behoefte om de HELP-tabellen te vervangen (Hack-ten Broeke e.a., 2010).

In de afgelopen jaren is kennis beschikbaar gekomen die de vertaling van waterhuishouding naar opbrengstvermindering structureel kan verbeteren en klimaatbestendig kan maken. Een nieuwe methode zal waterbeheerders, waterbedrijven en het Rijk beter ondersteunen bij het nemen van beleidsbeslissingen en het zoeken naar een optimaal waterbeheer. De nieuwe methode kan onder meer worden gebruikt voor de vaststelling van de doelrealisatie Landbouw in de Waternoodsystematiek, voor de vaststelling van het Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime (GGOR) in een beheergebied en voor effectvoorspellingen met het delta-instrumentarium (zie www.delta-portaal.nl). Onder auspiciën van STOWA is breed draagvlak gerealiseerd voor het ontwikkelen van een methode ter bepaling van landbouwopbrengsten in afhankelijkheid van waterhuishoudkundige omstandigheden. Het Deltaprogramma Zoetwater, waterschappen, LTO, provincie Utrecht, de waterbedrijven Vitens en Brabant Water, de AdviesCommissie Schade Grondwater (ACSG), Alterra/het Ministerie van EZ (via het KennisBasis-programma) en Zoetwatervoorziening Oost Nederland (ZON), hebben de krachten gebundeld, waardoor we een start hebben kunnen maken om te komen tot verbeterde reproduceerbare opbrengstfuncties, ter vervanging van de HELP- en TCGB-tabellen.

Voor het bepalen van de landbouwschade spelen vele factoren een rol, zoals droogteschade, natschade, inundatie (deze vorm van schade wordt thans door de waterschappen berekend gebruikmakende van de door STOWA ontwikkelde Waterschadeschatter: www.waterschadeschatter.nl), klimaat, bedrijfsvoering, ziekten en plagen. In de eerste fase van het project (Bartholomeus e.a., 2013) is 'laaghangend fruit' geogst zodat op relatief korte termijn een verbeterde methode is ontstaan waarin een deel van de huidige stand van kennis en techniek operationeel is gemaakt. Dit betreft de update van het SWAP model (Soil-Water-Atmosphere-Plant, (Kroes e.a., 2009; Van Dam e.a., 2008)) en het opzetten van een systeem voor het afleiden van metarelaties tussen grondwaterstandskarakteristieken en opbrengstdepressies. In dit artikel gaan we in op de conceptuele verbeteringen die in SWAP zijn doorgevoerd voor de berekening van directe effecten van droogte-, nat- en zoutschade. Tevens laten we een eerste voorbeeld van metarelaties zien waarmee in de toekomst aan de hand van grondwaterstandskarakteristiekeneenvoudig opbrengstdepressies geschat kunnen worden.

Methode

Directe effecten van droogte-, nat- en zoutschade

Of het nu om landbouwgewassen gaat of om natuurlijke vegetaties, in beide gevallen wordt het functioneren van planten bepaald door de beschikbaarheid van water, zout en nutriënten, maar ook van zuurstof in de bodem. Planten proberen altijd voldoende water en zuurstof op te nemen uit de bodem voor een maximale gewasgroei.

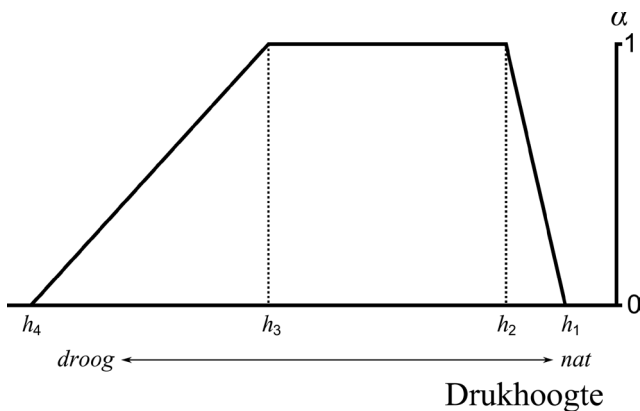
Als de beschikbaarheid van water en zuurstof in de wortelzone onvoldoende is om aan hun vraag te voldoen, zullen planten respectievelijk droogte- en zuurstofstress onderkennen. Ook als de zoutconcentratie in het bodemvocht te hoog is, zal de wateropname afnemen. Directe effecten op de transpiratie en groei van landbouwgewassen worden veroorzaakt door de remmende invloed van te droge, te natte of te zoute omstandigheden in de wortelzone op de wateropname door de wortels.

Om klimaatbestendige relaties op te stellen tussen effecten van een verandering in de waterhuishoudkundige situatie en gewasopbrengst moeten de processen in de wisselwerking tussen bodem, water, plant en atmosfeer beschouwd worden. Om uitspraken te kunnen doen over het effect van klimaatverandering, zoals temperatuurstijging, hogere CO₂-concentraties en de onderlinge samenhang tussen processen op de landbouwopbrengsten zijn immers causale verbanden nodig. In de eerste fase van het verbeteringstraject van de landbouwschadefuncties hebben we ons gericht op het operationaliseren van beschikbare proceskennis in SWAP, om de bepaling van droogte-, nat- en zoutschade te verbeteren.

Beschrijving van SWAP (zonder doorgevoerde verbeteringen)

SWAP simuleert transport van water, opgeloste stoffen en warmte in de onverzadigde zone in relatie tot de verzadigde zone, het oppervlaktewater en plant-atmosfeerrelaties. SWAP is een veel gebruikte modelcode voor het bepalen van de actuele verdamping als functie van meteorologische gegevens, gecombineerd met gewas- en bodemgegevens (Feddes en Raats, 2004) en vormt eveneens de basis voor de modellering van de onverzadigde zone in het NHI (www.nhi.nu). SWAP simuleert elk van de factoren die deel uitmaken van de verdamping: evaporatie van de bodem, transpiratie en interceptie-verdamping. Zowel de potentiële als actuele evaporatie en transpiratie worden berekend. Ook kan met SWAP de bodemtemperatuur op verschillende dieptes worden berekend. Deze temperatuur is onder meer afhankelijk van de luchttemperatuur, bodemeigenschappen en het vochtgehalte.

De transpiratiereductie door te weinig of te veel vocht in de bodem wordt weergegeven door de zogenaamde wortelonttrekkingsfunctie. Zowel te droge als te natte omstandigheden leiden tot een niet optimale verdamping omdat plantenwortels dan niet voldoende water kunnen opnemen. Voor het berekenen van reducties in de wateropname door te droge (watertekort) en te natte (zuurstoftekort) omstandigheden wordt veelal de reductiefunctie van Feddes e.a. (1978) gebruikt (Afbeelding 1). Daarnaast beschrijft SWAP de transpiratiereductie als gevolg van zoutstress.



Afbeelding 1: Relatieve wortelopname α (relatief ten opzichte van potentiële opname) als functie van de drukhoogte h volgens Feddes e.a. (1978), zoals gebruikt voor de berekening van droogteschade in SWAP. De wateropname door wortels neemt lineair af van h_3 tot h_4 door droogtestress. Tussen h_2 en h_3 is de wateropname optimaal ($\alpha=1$). Volgens deze functie neemt de wateropname af door zuurstofstress tussen de kritische grenswaarden h_2 en h_1 ; in plaats van deze 'natte' kant van de functie is het nu mogelijk de zuurstofmodule van Bartholomeus e.a. (2008) te gebruiken.

Als de bodemvochtcondities niet optimaal zijn, bijvoorbeeld door vochttekort, neemt de potentiële transpiratie af tot de actuele transpiratie (T_a). Niet alleen een tekort aan water in de wortelzone leidt tot transpiratiereductie, maar ook een tekort aan zuurstof en een te hoog zoutgehalte van het bodemvocht. Onder suboptimale vochtvoorziening in de wortelzone zal de actuele transpiratie (T_a) kleiner zijn dan de potentiële transpiratie (T_p), wat gevolgen heeft voor de gewasopbrengst. De relatieve gewasopbrengst (Y_a/Y_p) wordt gelijk gesteld aan relatieve transpiratie (T_a/T_p) (De Wit, 1958).

In SWAP wordt het effect van de wateropname van plantenwortels beschreven door het opnemen van de zogenaamde 'sink-term' in de Richards' vergelijking voor stroming van water in de onverzadigde zone. De actuele wateropname van planten wordt berekend door de maximale wateropname S_{max} te vermenigvuldigen met stressfactoren voor droogte-, zuurstof- en zoutstress, respectievelijk $\alpha_{droogte}$, $\alpha_{zuurstof}$, α_{zout} (Kroes e.a., 2009):

$$S(z) = \alpha_{droogte} \alpha_{zuurstof} \alpha_{zout} S_{max}(z) \quad (1)$$

S_{max} , de maximale wateropname door planten, wordt bepaald door de potentiële transpiratie te verdelen over verschillende diepten, aan de hand van het verloop van de worteldichtheid met de diepte. Integratie van $S(z)$ over de wortelzone levert de actuele transpiratie.

SWAP is nu aangepast, zodat niet alleen droogte, maar ook de directe effecten van zuurstofstress en zoutstress berekend kunnen worden. Bestaande kennis voor de berekening van zuurstofstress en zoutstress is binnen SWAP geoperationaliseerd of verbeterd, zoals hierna beschreven.

Resultaten

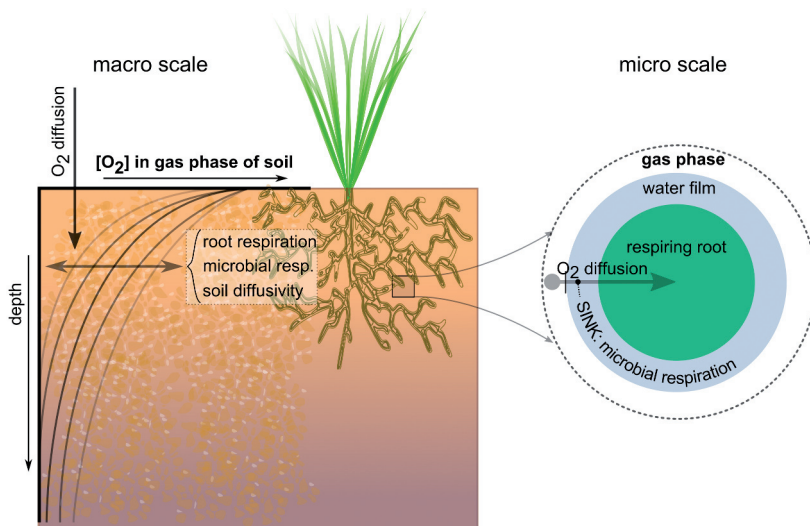
Aanpassingen aan SWAP voor berekening directe effecten van schade

Droogteschade

Voor de berekening van directe effecten van droogteschade (α_{droogte} , vergelijking (1)) is de standaardmethode van SWAP gebruikt (Kroes e.a., 2009), te weten de 'droge' kant van de Feddes-functie (Afbeelding 1).

Natschade

Natschade door zuurstofstress is lange tijd nauwelijks onderzocht. Zuurstofstress is daarom slecht verwerkt in de oude HELP-tabellen en in de huidige modelcodes zoals SWAP, MetaSWAP (Van Walsum en Veldhuizen, 2011) en WOFOST (Van Diepen e.a., 1989). Het effect van aeratie wordt in hydrologische modellen berekend met de reductie-functie van Feddes (Afbeelding 1), die de transpiratiereductie beschrijft aan de hand van constante grenswaarden van bodemvochtcondities. Deze grenswaarden zijn gebaseerd op waarnemingen, maar beschrijven niet het proces. De functie houdt onvoldoende rekening met de transpiratiereductie door anaerobe condities en met de temperatuur (Bartholomeus e.a., 2008). Juist de combinatie van hoge temperatuur, die de zuurstofvraag van planten verhoogt, en intensieve neerslag, die de beschikbaarheid van zuurstof verlaagt, is schadelijk voor planten en zal in de toekomst vaker voorkomen. Er is een methodiek beschikbaar (Bartholomeus e.a., 2008), dat transpiratiereductie door zuurstofstress berekent in afhankelijkheid van planteigenschappen en plantfysiologische processen, gehalte luchtgevulde poriën, bodemtemperatuur, bodemfysische eigenschappen en microbiële activiteit (Afbeelding 2).

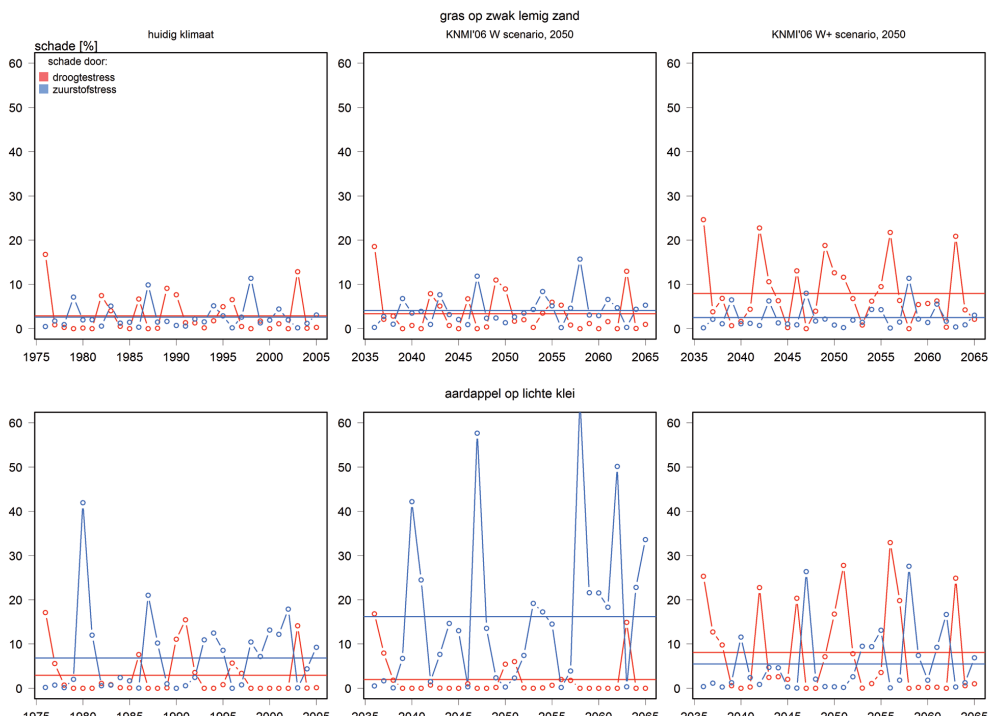


Afbeelding 2: Schematisering van de zuurstofmodule, gebruikt om dagelijkse respiratie- en transpiratiereductie te bepalen. De module combineert fysiologische processen (wortelrespiratie en microbiële respiratie) en fysische processen (diffusie op zowel macro- als microschaal). Details voor de gebruikte vergelijkingen zijn gegeven in Bartholomeus e.a. (2008).

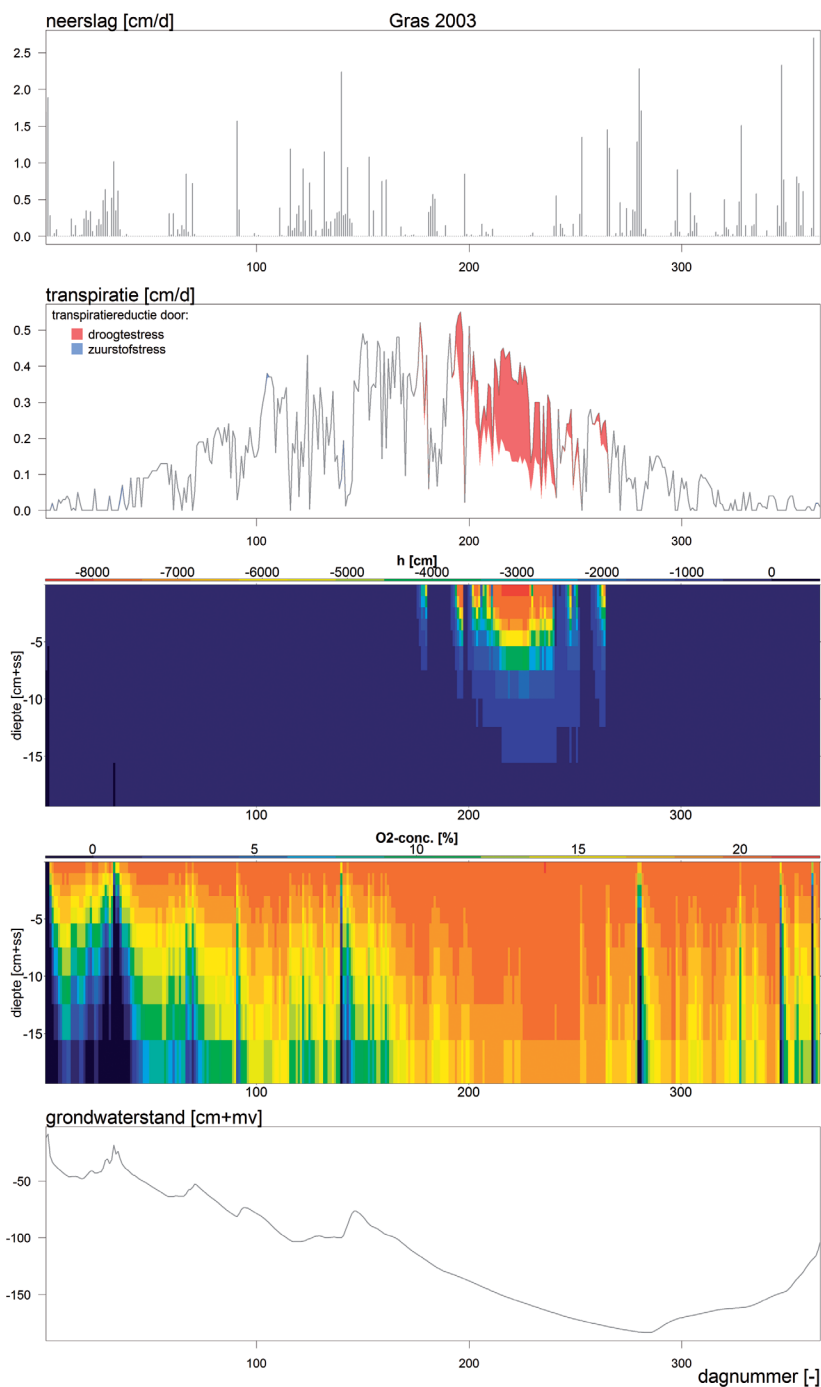
De module van Bartholomeus e.a. (2008) is ingebouwd in SWAP als optie om de 'natte' kant van de functie in Afbeelding 1 te vervangen. De module was op zichzelf al operationeel, maar de aansluiting op SWAP is in orde gemaakt. Net zoals de directe effecten van droogteschade - transpiratiereductie door watertekort - kunnen nu de directe effecten van natschade - respiratie- en transpiratiereductie door zuurstoftekort - met SWAP bepaald worden. Parameterwaarden voor gras en aardappel zijn gegeven in Bartholomeus e.a. (2013). De zuurstofmodule is, evenals de functie in Afbeelding 1, onderdeel van de 'wateropname-variabele' $S(z)$ (vergelijking (1), α_{zuurstof}).

Zoutschade

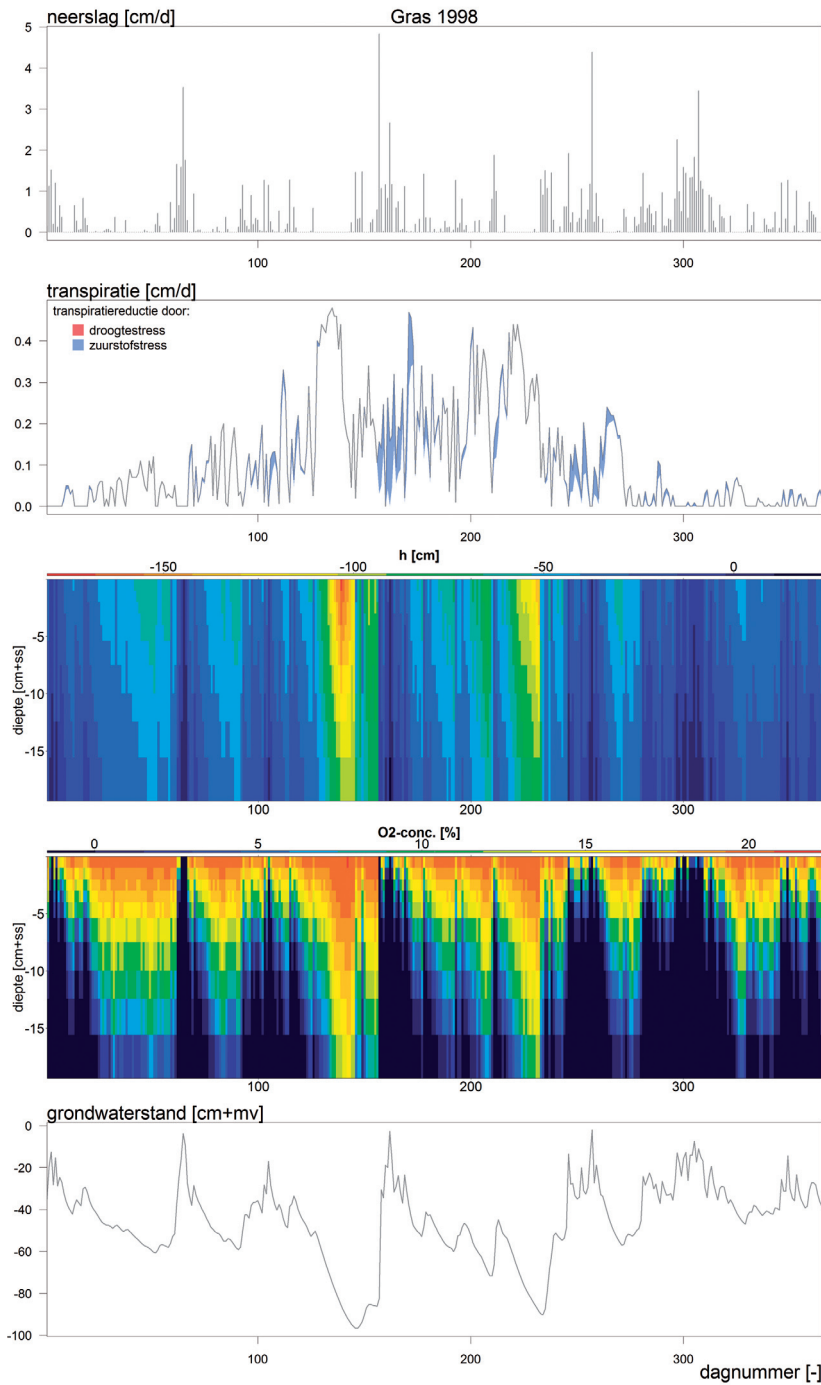
SWAP is aangepast om de zoutschade als gevolg van zout in de wortelzone beter te berekenen. Bepaling van de zoutschade vindt plaats op basis van een uit proeven afgeleide relatie tussen (gemiddelde) chlorideconcentratie van het vocht in de wortelzone en gewasopbrengst. Deze experimentele relaties zijn door Maas en Hoffman (1977) en Maas (1990) vastgesteld voor veelal semi-aride omstandigheden (Van Bakel e.a., 2010). Met deze methode kunnen verschillende beregningstactieken (zoals zuinig beregenen of juist overvloedig beregenen, afhankelijk van de chlorideconcentratie in de wortelzone) worden doorgerekend (Van Bakel e.a., 2010).



Afbeelding 3: Met de aangepaste SWAP versie berekende jaarlijkse en klimaatgemiddelde (horizontale lijnen) schade door droogtestress en zuurstofstress voor gras met een worteldiepte van 20 cm op zwak-lemig zand ('casus Ruurlo', boven) en aardappel op lichte klei ('casus Rijnland', onder), voor het huidige klimaat en de klimaatscenario's W en W+ (2050).



Afbeelding 4: Dagelijkse neerslag (boven); potentiële transpiratie, actuele transpiratie (tweede figuur), en transpiratiereductie veroorzaakt door droogtestress of zuurstofstress (tweede figuur, respectievelijk bovenste lijn, onderste lijn, rood en blauw vlak); drukhoogteprofiel in de wortelzone (derde figuur), zuurstofprofiel in de wortelzone (vierde figuur) en grondwaterstandsverloop (onder), voor gras (worteldiepte 20 cm) op zwak-lemig zand ('casus Ruurlo') en het droge jaar 2003.



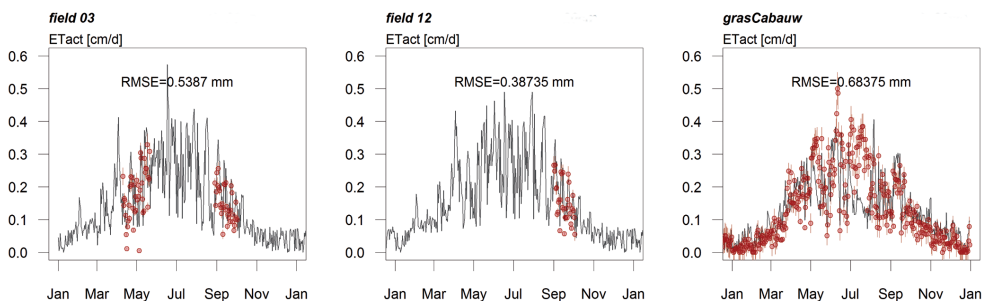
Afbeelding 5: Idem Afbeelding 4 maar nu voor het natte jaar 1998. Let op de verschillen met Afbeelding 4 voor de schaal waarop drukhoogtes (h) gegeven zijn. Deze zijn in deze figuur aanzienlijk hoger ('natter') dan voor Afbeelding 4.

Voorbeeldberekeningen voor droogte- en natschade

Voor twee voorbeelden, te weten 'casus Ruurlo' (gras op zwak lemig zand) en 'casus Rijnland' (aardappel op lichte klei) zijn enkele voorbeeldberekeningen uitgevoerd. Afbeelding 3 geeft met SWAP berekende jaarlijkse en klimaatgemiddelde droogtestress en zuurstofstress voor beide voorbeelden, voor het huidige klimaat en de klimaatscenario's W en W+ (2050). In tegenstelling tot de HELP-tabellen, kan met SWAP de variatie in schades tussen en binnen specifieke jaren worden bepaald. Daarnaast is het interessant om binnen (extreme) jaren het verloop van potentiële en actuele transpiratie, en hiermee opbrengstdepressie, inzichtelijk te maken. Afbeelding 4 en 5 geven hiervan voorbeelden voor de 'case Ruurlo' en het droge jaar 2003 en natte jaar 1998. In 2003 zakt de grondwaterstand diep weg, waardoor onvoldoende vocht in de wortelzone aanwezig is voor potentiële transpiratie (de drukhoogtes in de wortelzone zijn te laag); er treedt droogtestress op. In 1998 blijft de grondwaterstand gedurende vrijwel het hele jaar in of tot vlak onder de wortelzone, is de zuurstofconcentratie in de wortelzone in periodes te laag om aan de zuurstofvraag te voldoen waardoor zuurstofstress optreedt.

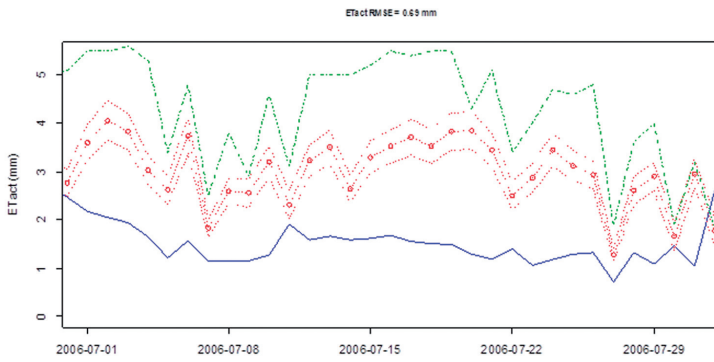
Plausibiliteitstoets

Om te toetsen of de nieuwe SWAP-versie plausibele modelsimulaties oplevert, is getoetst of het model in staat is om gemeten actuele verdamping te reproduceren. Daartoe zijn simulaties uitgevoerd voor proeflocaties Zegveld en Cabauw, locaties met gras waarvoor Eddy-Correlatie (EC) schattingen van de actuele verdamping beschikbaar zijn (Elbers e.a. (2010); www.climateXchange.nl).



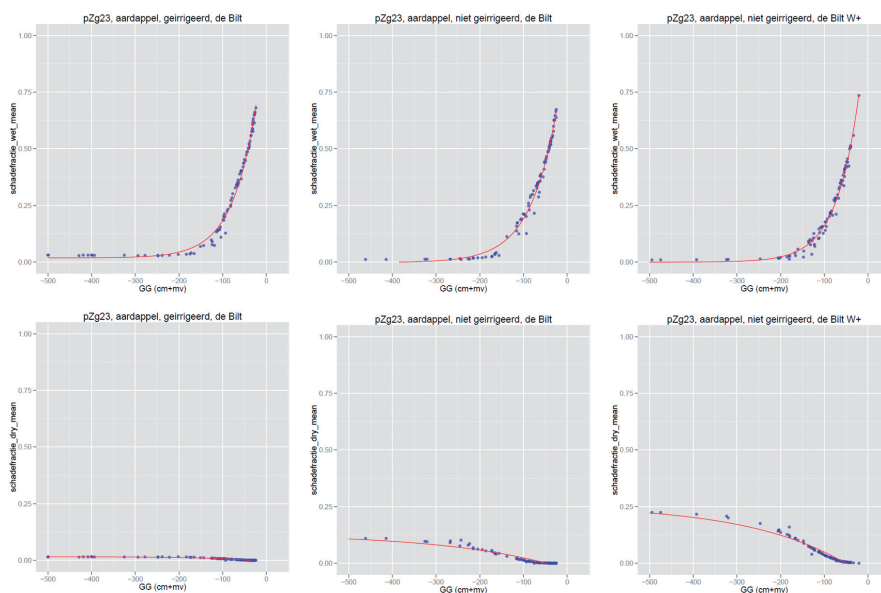
Afbeelding 6: Vergelijking van met SWAP gesimuleerde actuele verdamping (lijn) met Eddy-Correlatie schattingen (punten) voor Zegveld veld 3 en 12 voor het jaar 2002 en voor Cabauw (2006). Steeds is de Root Mean Squared Error (RMSE) berekend. De RMSE's geven de nauwkeurigheid waarmee de actuele verdamping de Eddy-Correlatie schattingen nabootst.

De resultaten (Afbeelding 6) laten zien dat de EC-schatting van de actuele verdamping naar ons idee in voldoende mate met SWAP gereproduceerd kan worden. Wel verdient de zomerperiode van 2006 (Cabauw) aandacht, omdat daarin de actuele verdamping met het model sterk onderschat wordt. Kennelijk wordt hier teveel transpiratiereductie door droogtestress berekend. Dit is ook geconstateerd bij de analyse van de resultaten van NHI 3.0 (Caljé e.a., 2013; Hoogewoud e.a., 2013). Uit analyse is gebleken dat door een dieper wortelprofiel of door het simuleren van compensatie van wateropname uit diepere lagen in het wortelprofiel, deze onderschatting opgeheven kan worden



Afbeelding 7: De actuele dagelijkse verdamping (mm/d) in Cabauw in juli 2006 : gemeten (in rood), gesimuleerd (blauwe lijn) en ETref (groene stippellijn) voor de referentie-toestand (bovenste figuur), met compensatie (middelste figuur) en met diepere beworteling (onderste figuur).

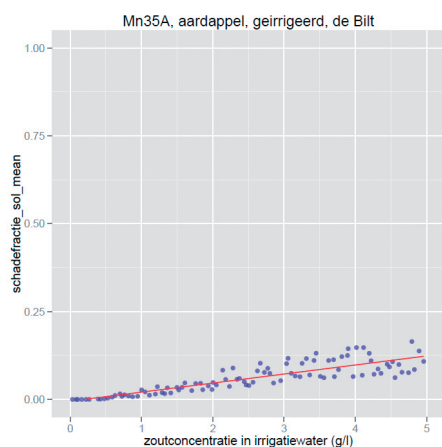
(Afbeelding 7). Deze resultaten laten het belang zien van een correcte bodemkundige schematisering, de juiste bodemfysische parameters, (dynamische) worteldiepte, evenals het mogelijk belang van de compensatie van wateropname. Conclusies moeten voorzichtig getrokken worden omdat het een beperkte plausibiliteitstoets betreft. Het belang van juiste bodem- en gewasparameters wordt hiermee vooral geïllustreerd. Verder onderzoek moet uit gaan maken of bijvoorbeeld op satelliet remote sensing gebaseerde schattingen van de actuele verdamping, bodemvochtcondities en/of biomassa productie gebruikt kunnen worden als kalibratiedata.



Afbeelding 8: Illustratie van metarelaties (conceptversies) voor aardappel op bodemtype pZg23 (beekeerdgrond). De gemiddelde grondwaterstand is hier als verklarende grondwaterkarakteristiek gebruikt. Linkerkolom: huidig klimaat met irrigatie. Midden: huidig klimaat zonder irrigatie. Rechter kolom: klimaat-scenario W+ zonder irrigatie. Rij 1: klimaatgemiddelde natschade door zuurstofstress; 2: droogtestress.

Metarelaties voor vertaling waterhuishoudkundige condities naar schadefracties

Om SWAP toe te kunnen passen is specialistische expertise vereist, hetgeen op gespannen voet staat met de wens om een eenvoudig toepasbare methode voor het kwantificeren van landbouwschade te hebben. Op basis van gedetailleerde SWAP-simulaties kunnen echter metarelaties (Van Bakel e.a., 2004) tussen grondwater-



Afbeelding 9: Illustratie van een metarelatie (conceptversie) voor zoutstress voor aardappel op bodemtype Mn35A (poldervaaggrond). De zoutconcentratie in het irrigatiewater is als verklarende karakteristiek gebruikt voor het bepalen van de gemiddelde schadefractie.

karakteristieken en opbrengstdepressie worden afgeleid, die eenvoudig, zonder verdere tussenkomst van de modellen, toepasbaar zijn. Grondwaterstanden, welke op relatief grote schaal gemonitord en gesimuleerd worden, kunnen via de metarelaties eenvoudig vertaald worden naar opbrengstdepressies. Het afleiden van metarelaties bespaart dus veel rekenwerk en vermindert de behoefte aan specialistische kennis voor de gebruiker.

Het principe voor het afleiden van metarelaties is al eerder uitgevoerd (Heuvelmans, 2010) en ook de HELP-tabellen en de TCGB-tabellen zijn voorbeelden van metamodellen. In dit project is een systeem opgezet waarmee metarelaties tussen een grondwaterkarakteristiek en opbrengstreductie kunnen worden afgeleid.

Ter illustratie hoe de metarelaties er uit zullen zien geven afbeeldingen 9 en 10 voorbeelden voor droogte-, nat- en zoutschade. Wanneer de metarelaties eenmaal zijn afgeleid, kunnen gemeten of gesimuleerde grondwaterstandsreeksen namelijk eenvoudig vertaald worden naar transpiratiereductie door droogte-, zuurstof- en zoutstress. In Afbeelding 9 is de gemiddelde grondwaterstand gebruikt als verklarende grondwaterstandskarakteristiek, maar vanzelfsprekend zijn andere karakteristieken ook mogelijk. In de definitieve versie van de nieuwe schadesystematiek zullen meerdere grondwaterstandkarakteristieken worden gebruikt.

Discussie

Met de actualisatie van SWAP en het opgezette systeem voor het afleiden van metarelaties is er een methode voor de berekening van directe schade aan landbouwgewassen door te droge, te natte (zuurstofgebrek) en te zoute omstandigheden. Deze methode is inzetbaar voor de berekening van langjarig gemiddelde waarden, maar ook om verschillen tussen jaren te kwantificeren en verschillen in omstandigheden binnen een jaar in beeld te brengen. En de methode is eveneens beschikbaar voor het berekenen van de effecten van klimaatscenario's en, verziltingsscenario's.

De methode is vooralsnog alleen geparametriseerd voor gras en aardappel. Verbeteringen die we in een vervolgfase hopen door te voeren zijn dat we de methode parametriseren voor meerdere gewassen, we rekening houden met indirecte effecten op gewasopbrengst als gevolg van bijvoorbeeld bedrijfsvoering, lengte van het groeiseizoen, gewaskwaliteit of vervolgschade van structuurbederf. en dat er een transparante conversie komt van reductie van gewasverdamping naar opbrengstderving in kilogrammen oogstbaar product en naar bedrijfsinkomen. Daartoe dient de nieuwe SWAP-versie gekoppeld te worden aan het gewasgroeimodel WOFOST (Van Diepen e.a., 1989) en is een vernieuwing van WATERPAS (De Vos e.a., 2006) en een koppeling met MEBOT (Schreuder e.a., 2008) voorzien. Koppeling met een gewasgroeimodel is nodig om niet alleen verdampingsreductie, maar vooral gewasopbrengstreductie te kwantificeren. Juist deze koppeling maakt de berekeningen klimaatbestendig, omdat effecten van temperatuur en CO₂ direct worden meegenomen in de simulatie van gewasgroeiprocessen. Koppeling met de bedrijfseconomische modellen (in WATERPAS en MEBOT) is noodzakelijk voor de kwantificering van indirecte effecten en agrarische inkomenseffecten zoals die in de praktijk worden herkend. Vanzelfsprekend moet de nieuwe methode gevalideerd worden. Daarbij denken we bijvoorbeeld aan het gebruik

van gewasopbrengstgegevens van het LEI/BIN. Daarnaast willen we ook een vergelijking maken met verdamping- en opbrengstgegevens afgeleid van satellietbeelden (Bastiaanssen e.a., 2012).

Conclusies

Met de verbeteringen aan het SWAP-model en het opgezette systeem voor het afleiden van metarelaties tussen grondwaterkarakteristieken en opbrengstdepressie is een belangrijke stap gezet naar een geactualiseerde en handzame bepaling van landbouwschade. Het systeem dient op termijn de verouderde HELP- en TCGB-tabellen te vervangen.

In deze eerste fase van de actualisatie is een bruikbare methode opgezet, gebaseerd op actuele gegevens en modellen. Op basis van SWAP, met deels nieuwe modules voor de berekening van directe effecten van droogte-, nat- en zoutschade, is een systeem ontwikkeld waarmee metarelaties tussen waterhuishoudkundige condities en gewasopbrengst kunnen worden afgeleid, voor zowel de huidige meteorologische condities, als die van het klimaat van de (nabije) toekomst. Via deze metarelaties kunnen dan grondwaterstanden, welke algemeen gemeten of gemodelleerd worden, eenvoudig vertaald worden naar opbrengstdepressies, zonder verdere tussenkomst van complexere modellen. Hiermee is een stevige, zowel theoretische als praktische, basis gelegd waarop in de vervolgfase voortgebouwd kan worden.

Verdere verbeteringen in alle aspecten voor een actuele, reproduceerbare methode, zoals gewasgroeimodellering, toetsing, indirecte schades en bedrijfsvoering kunnen stapsgewijs in een vervolgproject worden ingebracht.

Literatuur

Bartholomeus, R.P., Kroes, J., Van Bakel, J., Hack-tenBroeke, M. en Witte, J.P.M. (2013) Actualisatie schadefuncties landbouw; fase 1. Op weg naar een geactualiseerd en klimaatbestendig systeem van effect van waterbeheer op gewasopbrengst. STOWA 2013-22, Amersfoort

Bartholomeus, R.P., Witte, J.P.M., Van Bodegom, P.M., Van Dam, J.C. en Aerts, R. (2008) Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: substituting the Feddes-function by a process-based model; in: Journal of Hydrology, vol 360, pag 147-165

Bastiaanssen, W.G.M., Cheema, M.J.M., Immerzeel, W.W., Miltenburg, I.J. en Pelgrum, H. (2012) Surface energy balance and actual evapotranspiration of the transboundary Indus Basin estimated from satellite measurements and the ETLook model; in: Water Resources Research, vol 48(11), pag W11512

Bouwman, J.M.M. (1990) Achtergrond en toepassing van de TCGB-tabel; Een methode voor het bepalen van de opbrengstdepressie van grasland op zandgrond als gevolg van een grondwaterstandsverlaging, Technische Commissie Grondwater Beheer, Utrecht

- Caljé, R., Schaars, F. en Heijkers, J.** (2013) Vergelijking van enkele schattingsmethoden voor de actuele verdamping
- De Vos, J.A., Van Bakel, P.J.T., Hoving, I.E. en Conijn, J.G.** (2006) Waterpas-model: A predictive tool for water management, agriculture, and environment; in: Agricultural Water Management, vol 86(1-2), pag 187-195.
- De Wit, C.T.** (1958) Transpiration and crop yields; Agricultural Research Reports, 64.4. Pudoc, Wageningen, 88 pp
- Elbers, J.A., Moors, E.J. en Jacobs, C.M.J.** (2010) Gemeten actuele verdamping voor twaalf locaties in Nederland. STOWA rapport nr. 2010-36
- Feddes, R.A., Kowalik, P.J. en Zaradny, H.** (1978) Simulation of field water use and crop yield; Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, 189 pp
- Feddes, R.A. en Raats, P.A.C.** (2004) Parameterizing the soil-water-plant root system; in: Feddes, R.A., Rooij, G.H.d., Van Dam, J.C. (red), Unsaturated-zone Modeling: Progress, Challenges, Applications Wageningen UR Frontis Series Wageningen, pp. 95-141
- Hack-ten Broeke, M., Van den Akker, J., Van Dijk, W., Hoving, I., Vroon, H. en Van Walsum, P.** (2010) Behoeftte en haalbaarheid vervanging HELP-tabellen, Wageningen UR
- Heuvelmans, G.** (2010) Development and credibility assessment of a metamodel relating water table depth to agricultural production; in: Agricultural Water Management, vol 97(11), pag 1731-1741
- Hoogewoud, J.C., Prinsen, G.F., Hunink, J.C., Veldhuizen, A.A., Van der Bolt, F.J.E. en De Lange, W.J.** (2013) Toetsingrapportage NHI 3.0
- Kroes, J.G., Van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A. en Jacobs, C.M.J.** (2009) SWAP version 3.2, Theory description and user manual; Alterra report 1649 (update 02), Wageningen University and Research Centre, Wageningen
- Maas, E.V.** (1990) Crop salt tolerance; in: Tanji, K. (red), Agricultural Salinity Assessment and Management. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No 71. American Society of Civil Engineers
- Maas, E.V. en Hoffman, G.J.** (1977) Crop salt tolerance - current assessment. ; in: J. Irrigation and Drainage Division ASCE 103 (IRI): 115-134. Proceeding Paper 12993
- Schreuder, R., Van Dijk, W., Van Asperen, P., De Boer, J. en Van der Schoot, J.R.** (2008) Beschrijving van Milieu- en bedrijfsmodel voor de Open Teelten. MEBOT versie 1. Wageningen, PPO-rapport 373
- STOWA** (2010) Kennisprogramma Deltaproof; Kennis voor zoet en veilig water voor nu én later, Amersfoort
- Van Bakel, J. en Heijkers, J.** (2004) Is de HELP-tabel aan vervanging toe?; in: H2O, vol 23, pag 8-10
- Van Bakel, J. en Van den Eertwegh, G.** (2011) Nieuwe mogelijkheden voor herziening van de HELP-tabel; in: H2O, vol 18
- Van Bakel, J., Walvoort, D.J.J., Akkermans, L.M.W. en Kroes, J.G.** (2004) Metamodellen: doe meer met minder; in: H2O, vol 37(16), pag 20-22

- Van Bakel, P.J.T., Kselik, R.A.L., Roest, C.W.J. en Smit, A.A.M.F.R.** (2010) Review of crop salt tolerance in the Netherlands. Alterra-rapport 1926, Wageningen
- Van Bakel, P.J.T., Linderhof, V., Van 't Klooster, C.E., Veldhuizen, A.A., Goense, D., Mulder, H.M. en Massop, H.T.L.** (2009) Definitiestudie AGRICOM; Alterra-rapport 1934, Alterra, Wageningen
- Van Bakel, P.J.T., Van der Waal, B.H.C., De Haan, M.H.A., Spruyt, J. en Evers, A.** (2007) HELP-2006 : uitbreiding en actualisering van de HELP-2005 tabellen te behoeve van het waterlood-instrumentarium; STOWA 2007-13, STOWA, Utrecht
- Van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A. en Kroes, J.G.** (2008) Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP; in: Vadose Zone Journal, vol 7(2), pag 640-653
- Van Diepen, C.A., Wolf, J., Van Keulen, H. en Rappoldt, C.** (1989) WOFOST: a simulation model of crop production; in: Soil Use & Management, vol 5(1), pag 16-24
- Van Walsum, P.E.V. en Veldhuizen, A.A.** (2011) MetaSWAP_V7_2_0. Rapportage van activiteiten ten behoeve van certificering met Status A. Rapporten PBL/WOt
- Werkgroep-HELP-tabel** (1987) De invloed van de waterhuishouding op de landbouw=kundige productie; Mededeling 176, Landinrichtingsdienst, Utrecht

