

ACTUALISATIE SCHADEFUNCTIES VOOR DE LANDBOUW, TUSSENFASE 2A: PLAUSIBILITEITSTOETS SWAP EN ENKELE VERKENNENDE BEREKENINGEN



ACTUALISATIE SCHADEFUNCTIES VOOR DE LANDBOUW,
TUSSENFASE 2A: PLAUSIBILITEITSTOETS SWAP EN
ENKELE VERKENNENDE BEREKENINGEN

RAPPORT

2013

37



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS

Mirjam Hack-ten Broeke (Wageningen UR (Alterra))
Joop Kroes (Wageningen UR (Alterra))
Rob Hendriks (Wageningen UR (Alterra))
Ruud Bartholomeus (KWR Watercycle Research Institute)
Jan van Bakel (De Bakelse Stroom)
Idse Hoving (Livestock Research)

BEGELEIDING

Wim Werkman (Deltaprogramma Zoetwater)
John Tobben (LTO)
Hans Mankor (provincie Utrecht)
Jan Jaap Buyse (Vitens)
Marck Eck (Brabant Water)
Heiko Prak (ACSG)
Bas Worm (Zoetwatervoorziening Oost Nederland (ZON))
Chris Griffioen (vz, Waterschap Groot Salland)
Myrjam de Graaf (Waterschap Peel en Maasvallei)
Joost Heijkers (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden)
Jan Huinink (Ministerie van EZ)
Michelle Talsma (STOWA)
Rob Ruijtenberg (Bureau WeL namens STOWA)

ONDERZOEK MEDE MOGELIJK GEMAAKT DOOR

Deltaprogramma Zoetwater, LTO, provincie Utrecht, Vitens, Brabant Water, ACSG,
Zoetwatervoorziening Oost Nederland (ZON), Alterra/Ministerie van EZ en STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2013-37

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

TEN GELEIDE

Hoe richt je het regionaal waterbeheer zo in, dat het de gebruiksfuncties in een gebied, zoals landbouw, natuur en wonen, optimaal bedient? En welke invloed hebben ingrepen in het waterbeheer voor gevolg op deze functies? Dit zijn vragen die elke dag een rol spelen in de praktijk van, onder andere, de waterbeheerder. Voor het bepalen van de effecten van de ingrepen in de waterhuishouding op de landbouwopbrengsten zijn in Nederland drie methodes operationeel: de HELP-tabellen, de TCGB-tabellen en AGRICOM. In bijna elke berekening wordt gebruik gemaakt van deze methodes. Door de landbouw, de waterbeheerders en de waterleidingbedrijven is lang aangedrongen op een herziening van deze methodes. De aanleiding was dat de methodes toe zijn aan actualisatie en aan het klimaatrobust maken. De bestaande methoden zijn bijvoorbeeld gebaseerd op verouderde meteorologische gegevens. Daarnaast geven de huidige methoden alleen langjarige gemiddelde schades. Een ander belangrijk punt is dat in de huidige methoden zout niet of beperkt wordt meegenomen. Met een droger klimaat gaat zout en het sturen met water op zout, een belangrijkere rol spelen in het waterbeheer. Daarnaast is er een nieuw concept ontwikkeld voor het duiden van natschade. Met de nieuwe insteek kunnen we straks door het jaar heen rekenen zodat we een beter beeld krijgen welke waterhuishoudkundige maatregelen we kunnen nemen en kunnen we beter inspelen op de klimaatveranderingen.

Recent is een belangrijke eerste stap gezet naar een breed gedragen methode voor het bepalen van de klimaatrobuste relaties tussen waterhuishoudkundige condities en opbrengstdepressies. Deze nieuwe methode zal de huidige schadetabellen kunnen vervangen. We gaan daarbij niet over een nacht ijs. Voor de aanpak is een traject voorzien van 2013 tot en met 2016. Het is de bedoeling dat de nieuwe methode in een aantal fasen wordt gerealiseerd. De eerste fase is afgerond. De conceptuele verbeteringen die zijn doorgevoerd zijn vastgelegd in STOWA rapport 'Actualisatie schadefuncties landbouw: fase 1', rapport 2013-22. Voordat we als gezamenlijke partijen verder wilden gaan, was er behoefte om een toetsing uit te voeren naar de plausibiliteit van de uitkomsten van het nieuwe modelinstrumentarium. Doet het instrument wat je er van verwacht en sluit het aan bij de praktijk. Hiervoor is een vergelijking gemaakt met bestaande modellen en met meetgegevens van de locaties Zegveld, Cabouw en Roswinkel. De resultaten vindt u in deze rapportage. De begeleidingsgroep is overtuigd door deze plausibiliteitstoets en is dan ook door gegaan met het vervolg; het maken van een koppeling met een gewasgroeimodel en het toetsen in de praktijk hiervan. In de loop van 2014 zullen hiervan de resultaten beschikbaar zijn. Dit om uiteindelijk, in 2016, te komen tot een klimaatbestendig en geactualiseerd instrument om te sturen op waterstromen en opbrengsten rekening houdend met droogte-, nat en zoutschade. Waarmee er straks een instrument is wat onmisbaar is bij het doorrekenen van o.a. peilbesluiten en inrichtingsplannen.

Amersfoort, november 2013

Directeur STOWA

Ir. J.J. Buntsma

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies. De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zo nodig aangevuld met andere deskundigen. Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.
Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

ACTUALISATIE SCHADEFUNCTIES VOOR DE LANDBOUW, TUSSENFASE 2A: PLAUSIBILITEITSTOETS SWAP EN ENKELE VERKENNENDE BEREKENINGEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	DE STOWA IN HET KORT	
	VOORWOORD	1
1	INLEIDING	2
	1.1 Probleemstelling	2
	1.2 Achtergrond	2
	1.3 Projectdoelstelling	3
	1.4 Leeswijzer	3
2	MODELBSCHRIJVINGEN	4
	2.1 SWAP	4
	2.1.1 SWAP versie 3.2.36	4
	2.1.2 Nieuwe SWAP-versie april 2013	6
	2.2 SWAP-WOFOST	8
	2.3 Waterpas	9
3	BESCHRIJVING GEBRUIKTE DATA	11
	3.1 Experimenten en meetgegevens	11
	3.1.1 Zegveld	11
	3.1.2 Cabauw	12
	3.1.3 Roswinkel	14
	3.2 Zout	14
	3.3 Waterpas	15

4	RESULTATEN VAN DE BEREKENINGEN	17
4.1	Zegveld	18
4.2	Cabauw	29
4.2.1	Rekenexperimenten	29
4.2.2	Beperkte gevoeligheidsanalyse Cabauw	33
4.3	Roswinkel	37
4.4	Zout	37
4.4.1	Voorbeeldberekening zoutschade	37
4.4.2	Resultaten overige proeven en kennis over zoutschade	38
4.5	Waterpas	40
4.5.1	Simulatie grasgroei zonder groeireductie	40
4.5.2	Simulatie grasgroei met groeireductie	41
4.5.3	Bedrijfsberekening	43
4.5.4	Conclusies Waterpas	47
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	48
6	LITERATUUR	50
	BIJLAGE A	
	Compensated root water uptake according to Jarvis (1989)	53

VOORWOORD

In korte tijd zijn tijdens de zomer van 2013 berekeningen uitgevoerd om het resultaat van fase 1 nader te toetsen. Het verslag daarvan vindt u in deze notitie.

Goed gedocumenteerde en gearchiveerde datasets waar gelijktijdig hydrologie, gewasgroei en verdamping is gemeten, zijn zeer schaars. Dit was bekend en is weer gebleken; zonder ondersteuning en bijdragen van diverse collega's binnen en buiten de betrokken instituten was dit resultaat niet te realiseren geweest.

Binnen Wageningen UR danken we Claudia Brauer, Jan Elbers, Cor Jacobs, Eddy Moors, Petra Stolk, Ab Veldhuizen en Frank van der Bolt. Met hen zijn diverse discussies gevoerd en zijn bijdragen en datasets verkregen op gebied van bodem, water en atmosfeer.

Verder bedanken we STOWA, SAT-WATER, HDSR (Joost Heijkers), eLEAF en KNMI voor het beschikbaar stellen van verdampings-gerelateerde meetgegevens. Verdampingsresultaten uit remote sensing beelden voor de veldexperimenten in Roswinkel konden helaas niet gebruikt worden omdat de periodes van metingen niet overeenstemden. De gegevens van Zegveld en Cabauw zijn wel gebruikt in deze notitie.

1

INLEIDING

1.1 PROBLEEMSTELLING

Al vele jaren wordt aangedrongen op vervanging van de HELP-tabellen als methode voor het berekenen van opbrengstdepressie in de landbouw in relatie tot waterhuishouding. De tabellen zijn gebaseerd op verouderde gegevens, de huidige landbouwpraktijk is er niet in verwerkt, de tabellen zijn ook niet reproduceerbaar en bijvoorbeeld niet te gebruiken voor het doorrekenen van klimaatscenario's. Daarom is onder auspiciën van STOWA een breed draagvlak gerealiseerd voor het ontwikkelen van een methodiek voor het bepalen van landbouwschade in afhankelijkheid van waterhuishoudkundige omstandigheden, gebaseerd op het agrohydrologische model SWAP. Met deze methodiek kunnen ook klimaatscenario's worden doorgerekend zodat ook klimaatrobuuste schaderelaties kunnen worden verkregen.

1.2 ACHTERGROND

De achtergrond van dit onderzoek is verwoord in het projectenoverzicht van de Deltaproof midterm review (STOWA, 2013): "Om veranderingen in waterbeheer te vertalen naar wijzigingen van landbouwopbrengsten zijn in Nederland drie methodes operationeel: de HELP-tabellen, de TCGB-tabellen en Agricom. De landbouworganisaties, de waterschappen en de drinkwaterbedrijven hebben lange tijd aangedrongen op een herziening van deze methoden, omdat ze gewoonweg verouderd zijn. Zo is de bepaling van nat- en droogteschade gebaseerd op verouderde meteorologische data en gewasgegevens. Bovendien geven de methoden alleen inzicht in langjarig gemiddelde schades. Zoutschade is niet of beperkt in de modellen verwerkt. Bovenal zijn de bestaande modellen ongeschikt om de gevolgen van een steeds grilliger wordend klimaat in de berekeningen mee te nemen..."

In de periode september 2012 – april 2013 is de eerste fase van het project uitgevoerd onder de titel 'Actualisatie schadefuncties landbouw' met KWR als penvoerder. Hierover is gerapporteerd door Bartholomeus et al. (2013). Het resultaat van deze eerste fase is een operationele SWAP-versie waarmee directe effecten van droogte, zuurstoftekort en zout in de wortelzone kunnen worden berekend. Deze directe effecten worden uitgedrukt als een reductie van gewasverdamping. Tevens is een eerste aanzet gegeven voor metarelaties, of eigenlijk grafieken waaruit per bodemtype de schade kan worden afgelezen als functie van een grondwaterkarakteristiek of zoutgehalte. Voor een aantal voorbeelden is het instrument gebruikt voor de berekening van directe schade, waarbij langjarig gemiddelden kunnen worden berekend alsmede verschillen tussen jaren en variatie in weer binnen een jaar in beeld kunnen worden gebracht. Ook zijn voorbeeldberekeningen uitgevoerd voor een tweetal klimaatscenario's.

Bovendien is nagegaan wat de meerwaarde zou zijn van de koppeling met een gewasgroei-model en hoe indirecte schade-effecten kunnen worden meegenomen. Het is belangrijk om van berekening van het effect op gewasverdamping een stap te kunnen maken naar het effect op gewasopbrengst en ten slotte naar een actuele opbrengst in de landbouwpraktijk.

Voor het landbouwbedrijfsleven spelen indirecte effecten zoals verkort groeiseizoen door beperkte bewerkbaarheid of verminderde gewaskwaliteit of blijvend structuurbederf een grote rol en die effecten komen tot uiting in het bedrijfsinkomen. Het is dus noodzakelijk om deze effecten mee te nemen in de methodiek.

De begeleidingsgroep onder voorzitterschap van STOWA heeft besloten om eerst over te gaan tot een tussenfase en daarna te besluiten over de volgende fase van het project. Zodoende bevat dit document een verslag van fase 2a (de tussenfase), namelijk een plausibiliteitstoets van de nieuwe versie van SWAP, met daarin nieuwe en verbeterde modules voor de berekening van zuurstof- en zoutstress.

1.3 PROJECTDOELSTELLING

Het einddoel van het project is een uniform en breed gedragen systeem voor het bepalen van klimaatrobuuste relaties tussen waterhuishoudkundige condities en gewasopbrengsten, ter vervanging van (op termijn) de huidige beschikbare systemen (STOWA, 2013).

Om dit doel te bereiken zijn meerdere fases afgesproken. In fase 1 is toegewerkt naar een operationeel instrument om directe droogteschade, natschade en zoutschade te berekenen. Dit is gebeurd voor gras en aardappel en de berekeningen resulteren in een effect op de gewasverdamping. Op basis van dit model SWAP met nieuwe modules is een systeem ontwikkeld waarmee metarelaties tussen waterhuishoudkundige condities en gewasopbrengst (als zijnde direct gekoppeld aan gewasverdamping) kunnen worden afgeleid, voor zowel de huidige meteorologische condities, als die van het klimaat van de (nabije) toekomst. Via deze metarelaties kunnen grondwaterstanden, welke algemeen gemeten of gemodelleerd worden, eenvoudig vertaald worden naar opbrengstdepressies, zonder verdere tussenkomst van modellen.

Fase 2 moet resulteren in een instrument dat niet alleen verdampingsreductie, maar juist ook de gewasopbrengstreductie kan berekenen. Voordat we hiermee aan de slag gaan is een extra toetsing gevraagd van de in fase 1 opgeleverde SWAP-versie.

De doelstelling van deze tussenfase is zodoende een aanvullende toetsing van de plausibiliteit van de in fase 1 opgeleverde SWAP-versie om daarna tot een goed gefundeerd besluit te komen over het vervolg.

1.4 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 beschrijven we eerst het modelinstrumentarium waarmee is gerekend. Dit betreft het model SWAP, de nieuwe module voor het berekenen van natschade als gevolg van zuurstofstress en de verbeterde module voor zoutschade en de bestaande koppeling van SWAP met WOFOST. Ten slotte staat in hoofdstuk 2 een korte beschrijving van Waterpas.

De voor de toetsing gebruikte gegevens van veldexperimenten zijn beschreven in hoofdstuk 3. Er wordt een korte toelichting gegeven op de keuze voor de locaties Zegveld, Cabauw en Roswinkel. Verder worden overzicht en achtergronden gegeven van de gebruikte metingen.

Hoofdstuk 4 geeft de resultaten van alle berekeningen voor achtereenvolgens de locaties Zegveld, Cabauw en Roswinkel. In hoofdstuk 5 zijn onze conclusies te vinden.

2

MODELBSCHRIJVINGEN

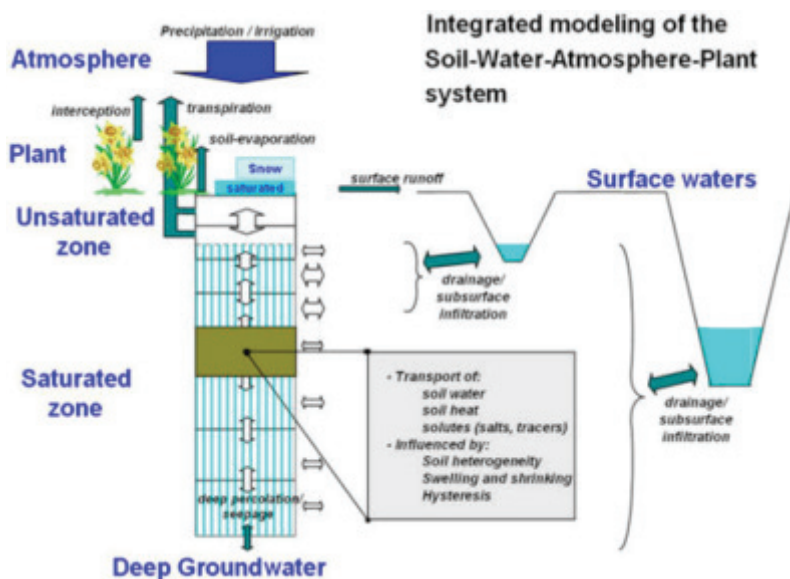
In dit hoofdstuk beschrijven we kort alle modellen waarmee is gerekend.

2.1 SWAP

Hieronder volgt een beschrijving van de SWAP-versie die voor iedereen beschikbaar is via internet en wereldwijd wordt gebruikt. In de paragraaf 2.2.2. beschrijven we de aanpassingen die in fase 1 van het project zijn doorgevoerd. Beide beschrijvingen zijn eveneens te vinden in de rapportage over fase 1 (Bartholomeus et al., 2013).

2.1.1 SWAP VERSIE 3.2.36

FIGUUR 1: SCHEMATISCH OVERZICHT VAN HET BODEM-WATER-ATMOSFEER-PLANT SYSTEEM, SAMENGEBRACHT IN HET MODEL SWAP (WWW.SWAP.ALTERRA.NL).

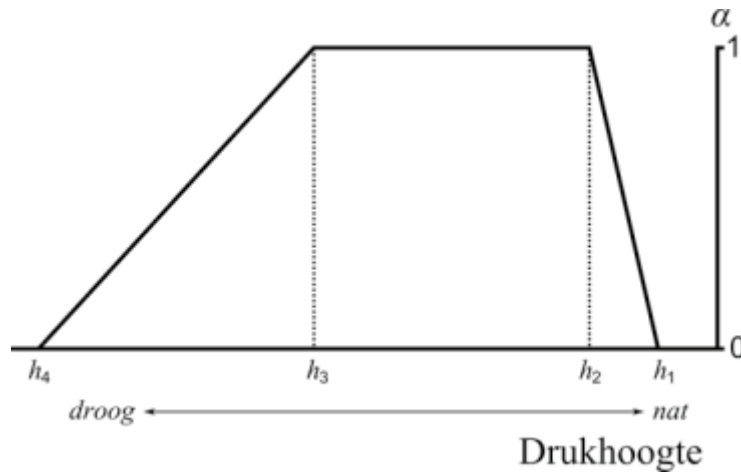


Het SWAP model (Soil-Water-Atmosphere-Plant, Figuur 1) simuleert het transport van water, opgeloste stoffen en warmte in de onverzadigde en, zij het in beperkte mate, de verzadigde zone. SWAP is ontwikkeld door Wageningen Universiteit en Alterra. De eerste versie van het SWAP model werd, voor toepassingen op veldschaal, al in 1978 ontwikkeld (Feddes et al., 1978) en sindsdien is het model veelvuldig toegepast en zijn diverse verbeteringen aangebracht. SWAP wordt gezien als het standaardmodel voor het bepalen van de actuele verdamping als functie van meteorologische gegevens gecombineerd met gewas en bodemgegevens (Feddes en Raats, 2004).

De reductie in actuele transpiratie als gevolg van beschikbaar vocht in de bodem wordt weergegeven door de zogenaamde wortelonttrekkingsfunctie. Zowel te droge als te natte omstan-

digheden leiden tot een niet optimale transpiratie 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 de reductiefunctie van Feddes et al. (1978) gebruikt (figuur 2). SWAP beschrijft elk van de factoren die deel uitmaken van de verdamping: evaporatie van de bodem, transpiratie van het gewas en interceptieverdamping. Zowel de potentiële als actuele evaporatie en transpiratie worden berekend.

FIGUUR 2: RELATIEVE WORTELOPNAMEN α (RELATIEF TEN OPZICHT VAN POTENTIËLE OPNAME) ALS FUNCTIE VAN DE DRUKHOOGTE h VOLGENS FEDDES ET AL. (1978), ZOALS GEBRUIKT VOOR DE BEREKENING VAN DROOGTE- EN NATSCHADE IN SWAP. DE WATEROPNAME DOOR WORTELS NEEMT LINEAIR AF VAN h_3 TOT h_4 DOOR DROOGSTRESS. TUSSEN h_2 EN h_3 IS DE WATEROPNAME OPTIMAAL ($\alpha=1$). VOLGENS DEZE FUNCTIE NEEMT DE WATEROPNAME AF DOOR ZUURSTOFSTRESS TUSSEN DE KRITISCHE GRENSSWAARDEN h_2 EN h_1 .



SWAP is ontwikkeld voor toepassing op veldschaal, maar wordt tevens ingezet voor het simuleren van de waterhuishouding op regionale schaal. Het ontbreken van regionale interacties tussen de SWAP-rekeneenheden stelt beperkingen aan het gebruik van SWAP in regionale toepassingen. MetaSWAP (Van Walsum en Groenendijk, 2008) is daarom ontwikkeld voor gebruik in het NHI en voor gebruik binnen regionale modellering in het algemeen, en maakt gebruik van de rekenresultaten van SWAP om de vochtverdeling en de waterfluxen te berekenen. De naam MetaSWAP is bewust gekozen om de relatie met SWAP als referentie-model in de naam zichtbaar te maken. Voor perceeltoepassingen waarvoor specifieke informatie over bodemprofiel en/of bodemfysica voorhanden zijn, heeft gebruik van SWAP de voorkeur.

Als de bodemvochtcondities niet optimaal zijn, bijvoorbeeld door vochttekort, neemt de potentiële transpiratie af tot de actuele transpiratie (Figuur 2). 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 kunnen tot reductie van de wateropname door de wortels leiden. Onder suboptimale vochtvoorziening in de wortelzone zal de potentiële transpiratie (T_p) afnemen tot de actuele transpiratie (T_a), wat gevolgen heeft voor de gewasopbrengst. De relatieve gewasopbrengst (Y_a/Y_p) wordt gelijk gesteld aan de relatieve transpiratie (T_a/T_p):

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \frac{T_a}{T_p}$$

In het SWAP-model voor de onverzadigde zone 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 S van planten wordt berekend door de maximale wateropname S_{\max} te vermenigvuldigen met stressfactoren voor droogte-, zuurstof- en zoutstress, respectievelijk α_{droogte} , α_{zuurstof} en α_{zout} (Kroes et al., 2009):

$$S(z) = \alpha_{\text{droogte}} \alpha_{\text{zuurstof}} \alpha_{\text{zout}} S_{\max}(z) \quad (2)$$

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

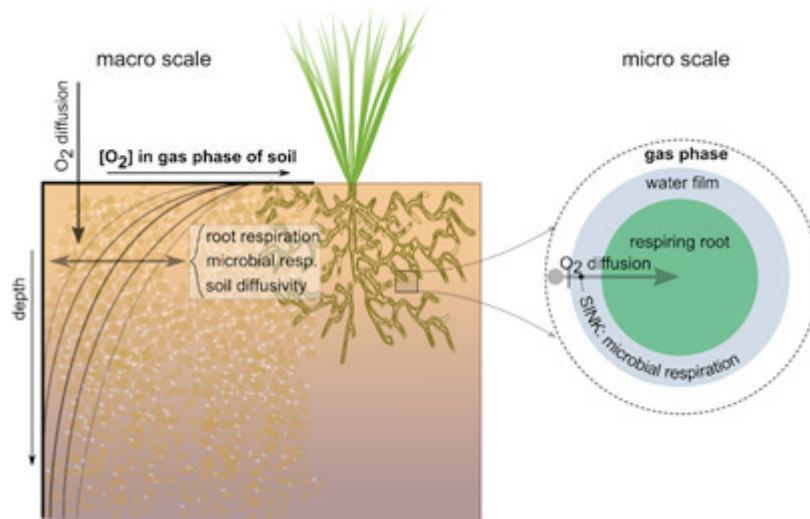
2.1.2 NIEUWE SWAP-VERSIE APRIL 2013

De wijzigingen in de nieuwe versie betreffen enerzijds de berekening van het effect van zuurstoftekort en anderzijds van hoge zoutgehalten in de wortelzone voor het gewas.

2.1.2.1 NATSCHADE

De module van Bartholomeus et al. (2008) voor de effecten van de zuurstofvoorziening op de respiratie en transpiratie is gebruikt voor het berekenen van de directe effecten van natschade. De module is ingebouwd in SWAP als optie om de 'natte kant' van de Feddes-functie in figuur 2 te vervangen. De module was op zichzelf operationeel, maar de aansluiting op SWAP is in orde gemaakt (zoals aansluiten op gewasbestanden, bodemfysische eigenschappen, stabiliteit/robuustheid). 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. In de zuurstofmodule wordt transpiratiereductie door zuurstofstress berekend in afhankelijkheid van planteigenschappen en plantfysiologische processen, worteldiepte, gehalte luchtgevulde poriën, bodemtemperatuur, bodemfysische eigenschappen en microbiële activiteit (Figuur 3). Met de zuurstofroutine kan directe natschade (natschade door zuurstoftekort) gekwantificeerd worden, hetgeen voorheen niet goed mogelijk was.

FIGUUR 3: SCHEMATISERING VAN DE ZUURSTOFMODULE, GEBRUIKT OM DAGELIJKE RESPIRATIE- EN TRANSPIRATIEREDUCTIE TE BEPALEN. DE MODULE COMBINEERT FYSIOLOGISCHE PROCESSEN (WORTELRESPIRATIE EN MICROBIËLE RESPIRATIE) EN FYSISCHE PROCESSEN (ZUURSTOFDIFFUSIE OP ZOWEL MACRO- ALS MICROSCHAAL). DETAILS VOOR DE GEBRUIKTE VERGELIJKINGEN ZIJN GEGEVEN IN BARTHOLOMEUS ET AL. (2008).



De capaciteit van de bodemmatrix voor zuurstoftransport, de bodemtemperatuur en de diepte bepalen in belangrijke mate bij welke bodemvochtcondities zuurstoftekort optreedt. Zo is bij een gegeven vochtgehalte de structuur van een zandbodem relatief ongunstig voor een goede zuurstofdiffusie, omdat er weinig aaneengesloten poriën zijn. Een niet gedegradeerde kleibodem daarentegen, is daarvoor veel beter geschikt, vanwege de aaneengesloten luchtgevulde poriën. Dergelijke verschillen kunnen goed gereproduceerd worden met de zuurstofroutine. Een nadere toelichting, voorbeeldberekeningen en een eerste plausibiliteitstoets zijn beschreven in het rapport waarmee fase 1 van het project is afgerond (Bartholomeus et al., 2013).

2.1.2.2 ZOUTSCHADE

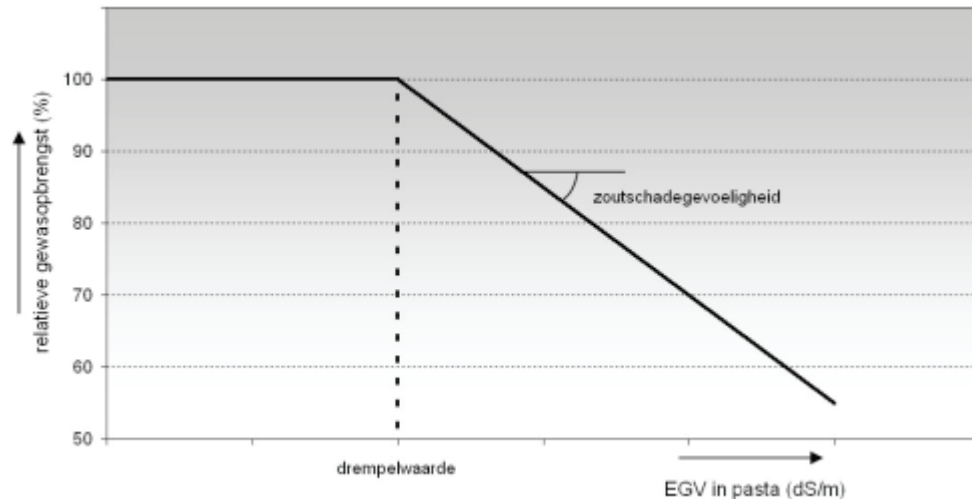
Bepaling van de zoutschade kan op verschillende manieren, maar vooralsnog is gekozen voor een methode die is gebaseerd op een relatie die is afgeleid van proeven. Dit betreft een relatie tussen (gemiddelde) chlorideconcentratie van het vocht in de wortelzone en opbrengst. Daarbij zijn experimenteel vastgestelde relaties tussen zout in de wortelzone en opbrengstreductie gebruikt die door Maas en Hoffman (1977) en Maas (1990) zijn vastgesteld voor veelal semi-aride omstandigheden (Van Bakel et al., 2010).

Uitgangspunt is dat op een of andere manier het verloop van de chlorideconcentratie in de wortelzone bekend is. Met SWAP is het mogelijk per compartiment een water- en chloridebalans bij te houden en daarmee ook het chlorideconcentratieverloop van de compartimenten in de wortelzone in de tijd te simuleren.

Voor het berekenen van zoutschade met SWAP zijn de volgende stappen uitgevoerd (zie ook Bartholomeus et al., 2013):

- 1 Indeling van de zouttolerantie van landbouwgewassen, exclusief glastuinbouw en zeer zoutgevoelige open teelten zoals boomteelt in containers, overeenkomstig de FAO-klassen, in vier zouttolerantieklassen:
 - a gevoelig;
 - b matig gevoelig;
 - c matig tolerant;
 - d tolerant.
- 2 Toedeling van ieder landbouwgewas aan één van deze vier klassen.
- 3 Conceptualisering van de zouttolerantie in de vorm van een eenduidige geknikte relatie, met een zoutshadedrempel en een zoutshadagevoeligheid gekoppeld aan het Elektrisch Geleidingsvermogen (EGV) in de zogenoemde pasta (toevoegen van water aan een bodemonster tot een papje ontstaat, waardoor metingen mogelijk zijn). Dit is conform Maas en Hoffman (1977); zie ook Figuur 4.
- 4 Omrekenen van de EGV naar een chlorideconcentratie. Zie Van Bakel et al. (2010).
- 5 Per klasse van zouttolerantie een specificatie van de twee parameters. Vooralsnog zijn de parameters niet afhankelijk gesteld van het groeistadium.
- 6 Omrekenen van de parameters afgeleid voor de pasta naar parameters geldig voor een chlorideconcentratie in de wortelzone die tijdens de proeven dominant is geweest. Hiervoor is een indikkingsfactor van twee gebruikt, dat wil zeggen de drempelwaarde wordt twee maal zo hoog en de helling twee maal zo klein.
- 7 Aanpassen van SWAP zodat per compartiment in de wortelzone een reductie van de wateropname wordt gesimuleerd als de chlorideconcentratie in het compartiment de drempelwaarde overschrijdt.
- 8 De reductie van de verdamping volgt uit sommatie van de reducties van de compartimenten van de wortelzone.

FIGUUR 4: RELATIE TUSSEN EGV IN DE PASTA (ZIE PUNT 3) EN GEWASOPBRENGSTREDUCTIE. UIT VAN BAKEL EN STUYT (2011).



Ook is SWAP zodanig aangepast dat bij het beregenen rekening kan worden gehouden met de chlorideconcentratie in de wortelzone. Het is namelijk voorstelbaar dat in de loop van een droge periode zout zich ophoopt in de wortelzone die met overberegening kan worden uitgespoeld.

2.2 SWAP-WOFOST

Het model SWAP bevat opties om te rekenen met een statische en een dynamische gewasontwikkeling.

Voor de statische gewasontwikkeling worden gewassenmerken als (boven)randvoorwaarde aan het model SWAP opgelegd. Het betreft gewassenmerken zoals de ontwikkeling in de tijd van de hoeveelheid bladeren en wortels en de diepte van de beworteling. Deze gewassenmerken variëren niet per kalenderjaar en de meteorologische omstandigheden hebben er geen invloed op. De reductie in gewasopbrengst wordt meestal gelijk gesteld aan de totale verdampingsreductie of aan de transpiratiereductie.

Voor de dynamische gewasontwikkeling is een interactie met het model WOFOST6.0 (Van Diepen et al., 1989; Supit et al., 1994) geïmplementeerd in SWAP. Met deze dynamische interactie varieert de gewasontwikkeling als gevolg van variaties in klimaat en bodem. Zonnestraling en bladontwikkeling bepalen de hoeveel straling die wordt vastgelegd en omgezet in droge stof. Daarbij wordt gerekend met de volgende processen: fenologische ontwikkeling, interceptie van globale straling, CO_2 -assimilatie, ophoping van biomassa in bladeren, stam, oogstbaar product, knollen en wortels, bladsterfte en wortelgroei. De snelheid van assimilatie wordt beïnvloed door water- en zoutstress in de wortelzone waardoor ook de uiteindelijke gewasopbrengst wordt beïnvloed. Reductie in gewasopbrengst en transpiratie zullen meer dynamiek vertonen dan de statische modelversie omdat nu ook de waterbalans wordt beïnvloed door gewasgroei.

Een transparante koppeling tussen gewasgroei en bodemvochtcondities is cruciaal en vereist speciale aandacht. De verdamping is daarbij de verbindende factor. De verdamping zal met Penman-Monteith worden berekend en het gebruik van gewasfactoren zal worden geminimaliseerd. De verdampingsmethodiek wordt daarbij getoetst aan bestaande EC-metingen (Elbers et al., 2009) en internationaal aan de recente FAO-methodiek (FAO, 2012). De relatie tussen de reductie van transpiratie en gewasopbrengst zal nader geanalyseerd worden met meer aan-

dacht voor de relatieve transpiratie (T_a/T_p) omdat die maatgevend is voor de opbrengstreductie. Realistische gewasopbrengsten zijn nodig en het gebruik van zogenaamde managementfactoren zal moeten worden onderbouwd. Dit zal verder worden uitgewerkt in het vervolg van fase 2, waarbij o.m. aan bod komen: i) *zaaidatum* in plaats van de opkomstdatum zoals nu gebruikelijk, ii) kieming en opkomst waarbij rekening wordt gehouden met temperatuur en vochtgehalte (Van Wijk et al., 1988), iii) het effect van CO_2 , dat expliciet zal worden gemodelleerd, uitgebreider zal worden toegelicht en worden afgestemd met het AquaCrop-model dat door de FAO internationaal wordt ingezet (Hsiao et al., 2009; Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009), iv) zouttransport, waarbij zal worden geanalyseerd of het modelconcept met de osmotische potentiaal als drijvende kracht voldoende is uitgekristalliseerd om te worden opgenomen (De Jong van Lier et al., 2009).

Een ander aandachtspunt is de nieuwe zuurstofstressmodule in SWAP, die gekoppeld moet worden aan de zuurstofberekeningen in WOFOST. In WOFOST wordt assimilatie berekend, waarbij zuurstof wordt geproduceerd (fotosynthese) en tegelijkertijd is zuurstofstress bepalend voor die assimilatie. Daarom zal de zuurstofstressmodule van Bartholomeus et al. (2008) gekoppeld moeten worden met de dynamische wortelgroei in WOFOST. In de bestaande combinaties van SWAP met WOFOST is deze koppeling nog niet aanwezig. Dat geldt ook voor de koppeling van WOFOST met de nieuwe zoutmodule van SWAP. Het is nadrukkelijk de bedoeling om deze koppelingen in de volgende fase van het onderzoek te realiseren.

2.3 WATERPAS

Voor de sector melkveehouderij is een breed gedragen tool beschikbaar om bedrijfsvoering te kunnen analyseren, namelijk BBPR (Schils et al., 2007). Er bestaat ook al een koppeling tussen SWAP en BBPR, genaamd Waterpas (De Vos et al., 2006). Binnen Waterpas wordt voor een melkveebedrijf op perceelsniveau de waterhuishouding doorgerekend met het model SWAP; vervolgens wordt de grasgroei berekend met het model GRAMIN of het vernieuwde grasgroeimodel GRAS2007, waarbij vochttekort of N-tekort leidt tot vertraagde groei en te natte omstandigheden beperking opleggen aan graslandgebruik vanwege beperkte draagkracht (met name beweiding). De VoederVoorzieningsWijzer (Werkgroep Normen voor de Voedervoorziening, 1991) is een module binnen BBPR en deze simuleert aan de hand van de bedrijfsvoering het graslandgebruik (per perceel beslissing weiden, maaien en beweidingduur). BBPR berekent vervolgens de bedrijfseconomie en ook een nutriëntenbalans. Het graslandgebruik interacteert met de voeropname en de melkproductie van melkvee, dat wordt berekend met het Koemodel (Zom et al., 2002), eveneens een module binnen BBPR. Zodoende hebben berekeningen op bedrijfsniveau voor de melkveehouderij een grote meerwaarde. Op gebiedsniveau is tot nu toe vooral gerekend voor veenweidegebieden (De Vos et al., 2008).

De grenzen voor draagkracht in BBPR zijn gekozen op basis van Van Wijk (1984). Daarbij wordt voor maaien een vaste grens gehanteerd van 0.5 MPa, die wordt bereikt bij een drukhoogte van -40 cm (op 14 cm -mv).

Voor weiden is de minimale draagkrachtgrens gesteld op 0,25 MPa, echter er treedt dan wel extra schade op door vertrapping. Naarmate de draagkracht groter is neemt de vertrappingschade af. Bij een draagkracht groter dan 0,7 MPa treedt geen vertrapping meer op. De bijbehorende drukhoogte-grenzen zijn respectievelijk -30 en -70 cm.

De uitwisseling van data tussen SWAP en BBPR gebeurt in de meest geavanceerde uitwerking van Waterpas op dagbasis. In de minder geavanceerde uitwerking worden jaarberekeningen van SWAP als invoer voor BBPR gebruikt, wat een grovere benadering van de werkelijkheid betekent. Tot nu toe zijn berekeningen voor de polders Zegveld (De Vos *et al.* 2004), Krimpenerwaard (Hoving en De Vos, 2007) en de Vlietpolder (Van Bakel *et al.*, 2009) volgens de minder geavanceerde methode uitgevoerd. Met de koppeling op dagbasis zijn alleen testberekeningen uitgevoerd. In de paragrafen 3.1.5 en 4.6 zijn respectievelijk de methode en de resultaten van een dergelijke test voor graspercelen op het Veenweidecentrum Zegveld beschreven.

3

BESCHRIJVING GEBRUIKTE DATA

3.1 EXPERIMENTEN EN MEETGEGEVENS

Er is een keuze gemaakt uit de beschikbare datasets. Bij de keuze was het belangrijk dat er metingen zijn van: i) het grondwatersysteem (vochtgehaltes of grondwaterstanden), ii) het gewas (opbrengsten, op meerdere tijdstippen, voor grasland en aardappelen) en iii) de verdamping, bij voorkeur als EC-meting.

Door deze voorwaarden en de geringe analysetijd waren de mogelijkheden beperkt. Voor natschade en droogteschade is gerekend voor de veldexperimenten Zegveld (gras, veengrond), Cabauw (gras, kleigrond op veen) en Roswinkel (aardappel, zandgrond).

Van Roswinkel waren geen verdampingsmetingen beschikbaar voor de periode waarin de veldexperimenten hebben plaatsvonden; bovendien was er vrijwel geen natschade in het jaar van de metingen aan bodem en gewas.

Voor zoutschade zijn geen veldexperimenten gevonden waarbij de genoemde randvoorwaarden zijn gemeten onder zoute omstandigheden. De plausibiliteit van de berekeningen voor zoutschade zijn getoetst met de dataset van Roswinkel.

Op perceelschaal zijn er berekeningen uitgevoerd met Waterpas om de berekende grasgroei te kunnen vergelijken met de grasgroei bepaald in een veldproef voor specifieke weerjaren en bij vastgestelde beschikbaarheid van stikstof.

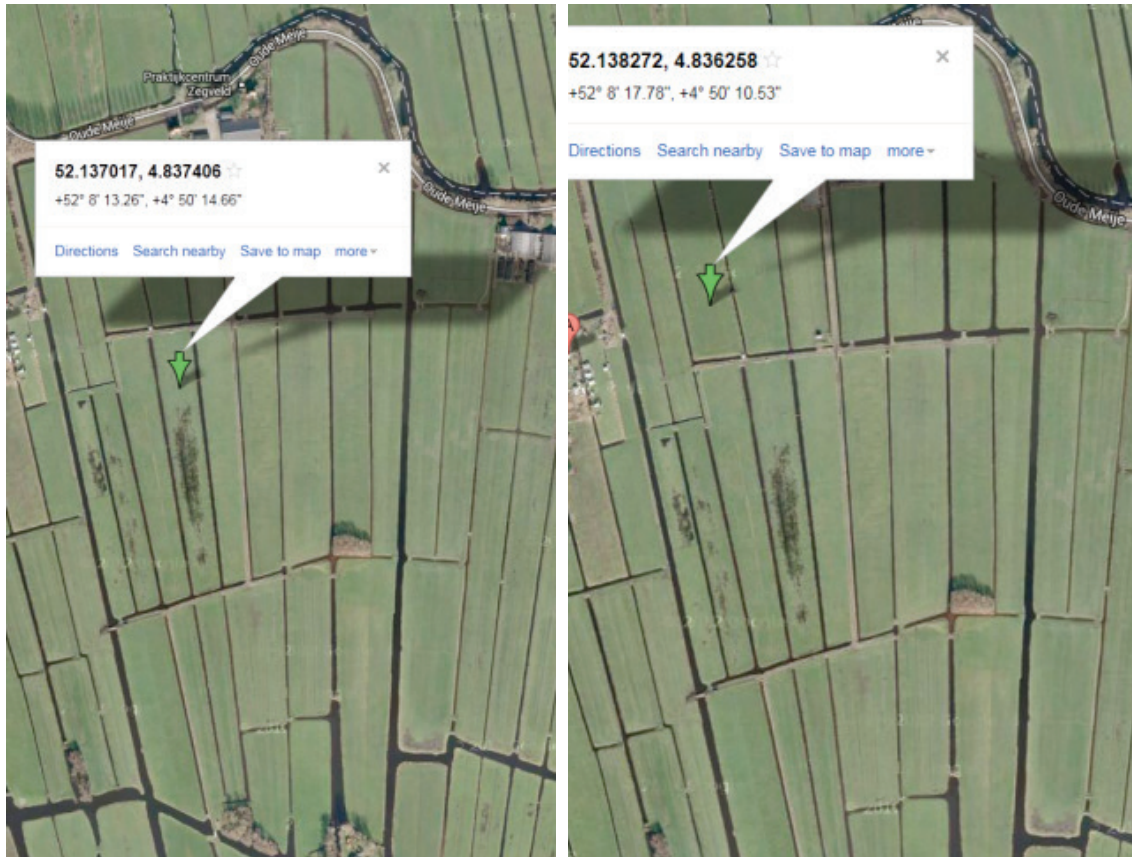
3.1.1 ZEGVELD

Voor Zegveld zijn een tweetal percelen doorgerekend: perceel 3 (zie Kroes and Supit, 2011; Hendriks en Van den Akker, 2012) en perceel 12 (Van der Salm et al., 2009). Perceel 3 is het relatief droge en perceel 12 het natte perceel (Figuur 5).

- Voor de modelsimulaties zijn de volgende invoergegevens van toepassing:
- De potentiële verdamping is berekend volgens Penman-Monteith.
- Meteorologie van De Bilt (temperatuur, globale straling, relatieve luchtvochtigheid en windsnelheid) en Zegveld (neerslag).
- Gewasbestanden:
 - SWAP-WOFOST: gedetailleerd gras met gegeven maaidata
 - SWAP: zogenaamd statisch gewas waarbij een modelvariant is uitgevoerd met een worteldiepte van 40 cm en een van 20 cm. Daarnaast is voor de berekening van zuurstofstress gebruik gemaakt van de Feddes functie met grenswaarden $h_1 = -15$ cm en $h_2 = -25$ cm ('Feddes = On') of $h_1 = h_2 = 0$ cm ('Feddes = Off') of de zuurstofmodule van Bartholomeus et al. (2008) en parameterwaarden zoals gegeven in Bartholomeus et al. (2013).
- Voor de onderrand in SWAP is de stijghoogte uit het diepe watervoerende pakket en een weerstand over de scheidende laag gebruikt. Deze zijn gelijk genomen voor beide percelen.
- Het betreft hier een veenbodem.

Eddy Correlatie-metingen van de actuele verdamping van Elbers et al. (2009) (www.climateXchange.nl) zijn beschikbaar voor de velden 3 en 12 gemeten in het voor- en najaar van 2002. Daarnaast zijn gegevens van de actuele verdamping zoals bepaald met ETLook beschikbaar voor 2006.

FIGUUR 5: ZEGVELD LOCATIES PERCEEL 12 (LINKS) EN PERCEEL 3 (RECHTS) IN GOOGLE EARTH (20130607)



3.1.2 CABAUW

Voor Cabauw is gerekend voor een perceel dat zo representatief mogelijk is voor de omgeving van de meetmast (Figuur 6). Voor de actuele verdamping (ET_{act}) is gebruik gemaakt van EC-metingen op 5 m hoogte (Elbers et al., 2009), namelijk gemiddelde waarden met onzekerheid, en correcties voor onzekerheden in de meetapparatuur.

Voor het kalenderjaar 2006 zijn de EC-metingen in tabel 1 samengevat. Daaraan zijn meteorologische gegevens van het KNMI-station 348, Cabauw toegevoegd.

De schematisering en parametrisering van de bodem is gebaseerd op de beschrijving van de bodem zoals gegeven door Beljaars and Bosveld (1997, p. 1175-1176).

TABEL 1: METEOROLOGISCHE GEGEVEN (MM) VAN CABAUW VOOR HET KALENDERJAAR 2006. GEGEVEN ZIJN DE ACTUELE VERDAMPINGSMETINGEN ZOALS GERAPORTEERD DOOR ELBERS ET AL. (2009) EN, IN DE 2 RECHTSE KOLONNEN, DE NEERSLAG EN VERDAMPING ZOALS HET KNMI DIE PUBLICEERT VOOR HET STATION 348, WAARBIJ DE VERDAMPING IS GEGEVENS ALS ET-REF, DE REFERENTIE-VERDAMPING DIE DOOR HET KNMI MET DE MAKINK-METHODIEK IS BEPAALD

maand	Metingen actuele ET Elbers et al.			KNMI station Cabauw_348	
	ET_ave	ET_min	ET_max	ET-ref	Neerslag
1	5	0	9	10	12
2	10	4	15	12	50
3	28	22	34	36	84
4	52	46	59	62	26
5	73	64	82	86	100
6	79	70	88	105	18
7	94	85	104	135	8
8	50	42	59	67	229
9	49	43	56	62	9
10	26	20	31	31	77
11	11	6	16	13	74
12	7	2	13	6	82
totaal	485	404	566	624	769

FIGUUR 6: CABAUW MEETMAST (IN CENTRUM VAN RODE RING) EN OMGEVING IN GOOGLE EARTH (SCREEN OP 20130531)

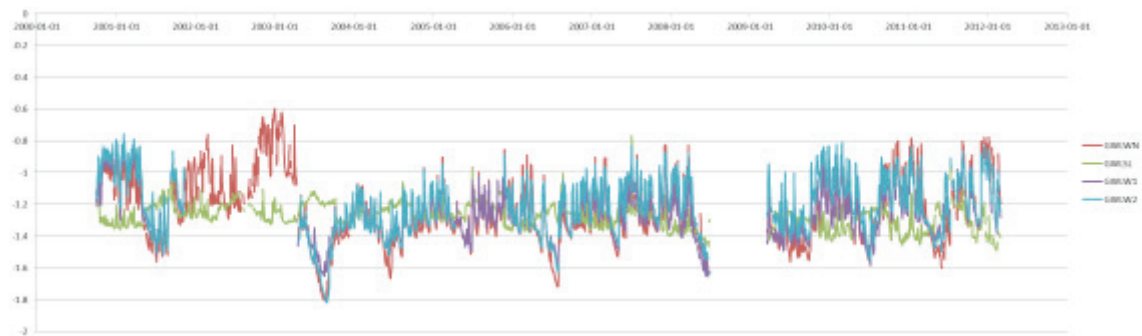


GRONDWATERSTANDEN

Grondwaterstanden zijn als onderrandvoorwaarde gebruikt. Voor de waarden van de grondwaterstanden is gebruik gemaakt van gegevens uit de Cesar-database (www.cesar-database.nl). In de Cesar-database zijn grondwaterstanden gegeven in m tov NAP. Als NAP-hoogte van het maaiveld is -0.85 m tov NAP aangehouden. Dit wijkt af van de -0.7 m tov NAP die op de documenten van de Cesar-site staat vermeld. Deze afwijking is gebaseerd op een vergelijking van de grondwaterstandsmetingen in 3 punten (GWLWN, GWLW1, GWLW2) met de meting in de sloot (GWLSL) en de streefpeilen (zie Fig 7). De streefpeilen waren -1.44 m voor de zomer en

-1.54 m voor de winter (mond. med. Claudia Brauer). Hiermee is een drooglegging bereikt van 60 cm in de zomer en 70 cm in de winter.

FIGUUR 7: GRONDWATERSTANDSMETINGEN (M TOV NAP) IN CABAUW



3.1.3 ROSWINKEL

Voor de berekeningen aan aardappelen op zand is gebruik gemaakt van een dataset die uitgebreid is beschreven door Leistra en Boesten (2008, 2010a, 2010b). Het veldexperiment was bedoeld om de uitspoeling van het insecticide Carbofuron te meten en te modelleren in een veld waarbij aardappels zijn verbouwd op ruggen.

De dataset heeft betrekking op metingen in de kalenderjaren 2000-2002, waarvan alleen de gegevens uit 2000 zijn gebruikt omdat die het meeste compleet waren. Er waren daarmee metingen beschikbaar van: grondwaterstanden, vochtgehalten en gewasopbrengst.

Vrijwel alle gegevens (schematisering, bodemopbouw, bodemfysica, meteo) zijn overgenomen van Leistra en Boesten (2008). Voor de modellering van het dynamische gewas is gebruik gemaakt van standaard aardappel parameters (Van Heemst, 1988, Boogaard et al, 2011), aangevuld met meteo (straling, temperatuur, luchtvochtigheid) van het dichtstbijzijnde KNMI-station 279 (Hoogeveen). Tevens is het gesimuleerde oogsttijdstip verlengd door aanpassing van de temperatuursom conform Akkermans et al. (2008). Om actuele opbrengsten te simuleren is de stress door nutriënten en overig management benaderd met een managementfactor conform Kroes en Supit (2011).

3.2 ZOUT

De dataset van Roswinkel is gebruikt om de plausibiliteit van de berekeningen voor zout schade te toetsen. De rekenperiode is verlengd van één jaar naar een klimaatreeks van 30 jaar. De lokale meteo-gegevens zijn vervangen door de meteo van een KNMI-station (235, De Kooy). De stijghoogte van het onderliggende pakket is verlaagd van -140 naar -300 cm, waardoor de grondwaterstanden zijn gedaald en een Gt VII is gesimuleerd.

De gewasparameterisering is vrijwel identiek gehouden, alleen de temperatuursom voor de overgang van bloei naar knolzetting is op standaard waarden gezet. De verlaging van het grondwaterstandsverloop heeft gezorgd voor een beregeningsvraag die door het model automatisch is opgevuld indien tussen 1 juni en 1 september een kritieke drukhoogte van -316 cm op 12.5 cm diepte wordt overschreden (uitdroging). Er wordt maximaal 1 keer per week beregend. Met het beregeningswater is zout gegeven met Cl-concentraties die variëren tussen de 0 en 5000 mg/l. Er is gerekend met een zoutshadedrempel van 1.2 (g/l) en een zoutshadedegevoeligheid van 20 % per g/l boven de shadedrempel. Voor de zoutberekeningen zijn aanvullende analyses uitgevoerd met de combinatie SWAP-WOFOST. Zie paragraaf 4.5 voor de resultaten.

3.3 WATERPAS

Met Waterpas is een test uitgevoerd om na te gaan in welke mate werkelijk gemeten grasopbrengsten op het Veenweide Innovatiecentrum te Zegveld (VIC Zegveld) gesimuleerd konden worden. Hiertoe is de versie van Waterpas gebruikt waarbij de uitwisseling van data op dagbasis (zie paragraaf 2.3) plaatsvindt. Als referentie voor de grasopbrengsten zijn het relatief droge perceel PR03 en het relatief natte perceel PR13 gekozen, met opbrengsten van de jaren 2004 tot en met 2007 (Hoving et al, 2008). De drooglegging van de percelen PR03 en PR13 was respectievelijk 55 en 20 cm.

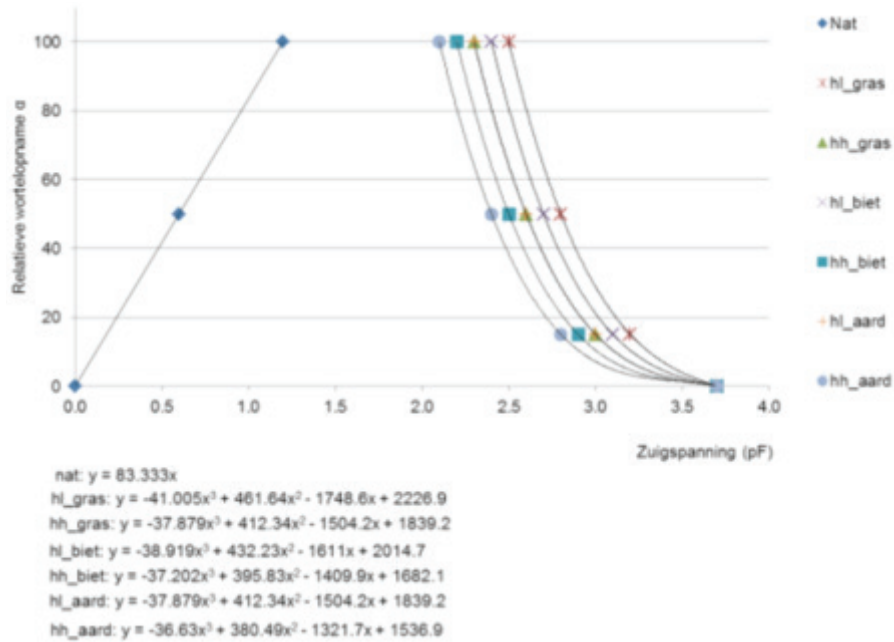
Naast de beschikbaarheid van vocht in de wortelzone (simulatie met SWAP) is de beschikbare hoeveelheid stikstof zeer bepalend voor de grasgroei. De stikstofvoorziening bestaat uit de stikstoflevering door de bodem en de toegediende stikstof in de vorm van organische mest en kunstmest. De stikstoflevering van de bodem betreft de hoeveelheid stikstof die door het gewas wordt opgenomen in een onbemeste situatie. Deze hoeveelheden waren voor de percelen PR03 en PR13 respectievelijk ongeveer 300 en 200 kg stikstof per ha per jaar. De stikstofbemesting bedroeg ongeveer 220 kg per jaar.

De simulatie van de grasgroei voor beide percelen is uitgevoerd in twee stappen, namelijk 1) een situatie zonder beperking van de grasgroei (droogteschade of zuurstofstress door vernatting) en 2) een simulatie van de werkelijke grasopbrengsten, waarbij de gemeten en gesimuleerde grasopbrengsten op snedebasis en op jaarbasis met elkaar vergeleken zijn.

De groeireductie door natschade of droogteschade wordt in BBPR (met groeimodel GRAS2007) berekend door de groei te corrigeren met een transpiratiefactor. De relatieve gewasopbrengst (Y_a/Y_p) wordt gelijk gesteld aan relatieve transpiratie (T_a/T_p) volgens formule 1 in paragraaf 2.1.1. De actuele verdamping wordt bepaald op basis van een Feddes-curve, waarbij de verdampingsreductie bij een relatief natte vochttoestand van de bodem (wortelzone) en bij een relatief droge vochttoestand van de bodem volgens verschillende functies wordt beschreven. Daarbij is voor het droge traject onderscheid gemaakt in een relatief hoge en in een relatief lage verdampingsvraag. Gekozen is voor niet-lineaire functies (expert judgement), omdat bij de gebruikelijke lineaire functies de verdamping te snel reduceert in vergelijking tot de praktijk (zeker in het natte traject). In Figuur 8 staat een uitwerking van de Feddes functie voor gras, aardappelen en bieten.

De zuurstofmodule in SWAP van Bartholomeus et al. (2008) kan het natte traject van de Feddes-curve vervangen. De koppeling met BBPR moet echter nog gemaakt worden, dus een koppeling van de nieuwe versie van SWAP met BBPR is niet getoetst.

FIGUUR 8: RELATIEVE WORTELOPNOME α (RELATIEF TEN OPZICHT VAN POTENTIËLE OPNAME) ALS FUNCTIE VAN DE ZUIGSPANNING (PF) VOLGENS FEDDES ET AL. (1978), TOEGEPAST IN BBPR OM DE TRANSPIRATIEREDUCTIE TE BEREKENEN, MET EEN FUNCTIE VOOR HET NATTE TRAJECT ('NAT') EN FUNCTIES VOOR EEN LAGE VERDAMPINGSVRAAG (HL) EN EEN HOGE VERDAMPINGSVRAAG (HH) VOOR GRAS, AARDAPPELEN EN BIETEN. BIJ ($\alpha=100$) IS DE WATEROPNAME OPTIMAAL.



4

RESULTATEN VAN DE BEREKENINGEN

Bij de vergelijking van modelresultaten en waarnemingen hebben we ons vooral gericht op berekende en gemeten verdamping en berekende en gemeten gewasopbrengst. Daarnaast is de hydrologie zo realistisch mogelijk beschreven door in elk geval op een hydrologische kenmerk (grondwaterstand of vochtgehalte) te toetsen. Er zijn 3 cases (Cabauw, Zegveld, Roswinkel) die zijn getoetst en waarmee vervolgens een aantal varianten is doorgerekend.

Tabel 2 geeft een overzicht van de varianten die zijn doorgerekend, waarbij voor dynamisch gewas gebruik is gemaakt van WOFOST en Bartho_O₂ staat voor de zuurstofstressmodule (Bartholomeus, 2008).

Aleen die combinaties zijn doorgerekend waarvan relevante modelverbeteringen zijn doorgevoerd; hierdoor is de combinatie van dynamische gewasgroei met Bartho_O₂ (SWAP-WOFOST) buiten beschouwing gebleven (zie ook paragraaf 2.2).

Voor Cabauw is een beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Voor aardappelen (Roswinkel) is een beperkte analyse uitgevoerd omdat er geen metingen van actuele verdamping beschikbaar waren.

Voor zoutschade zijn voorbeeldberekeningen met de dataset van Roswinkel uitgevoerd om de plausibiliteit te toetsen.

TABEL 2: DOORGEREKENDE VARIANTEN

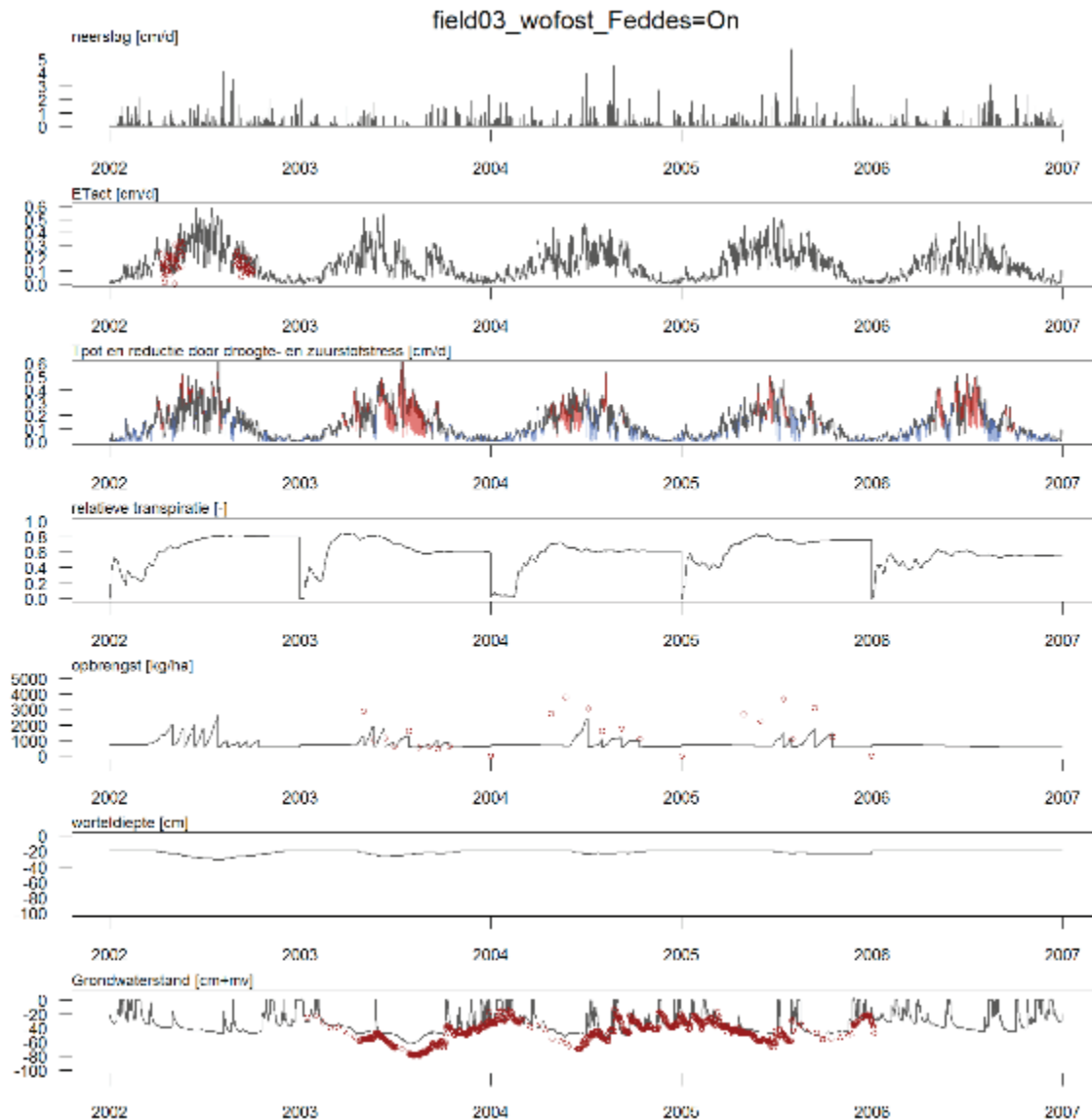
Case	gewas	worteldiepte	natschade	Feddes_natschade	
			Bartho_O ₂	aan	uit
Gras	statisch	20	+	+	+
(Cabauw en Zegveld)	statisch	40	+	+	+
	dynamisch	dynamisch	-	+	+
aardappel (Roswinkel)	statisch	statisch	+	+	-
	dynamisch	dynamisch	-	+	-

4.1 ZEGVELD

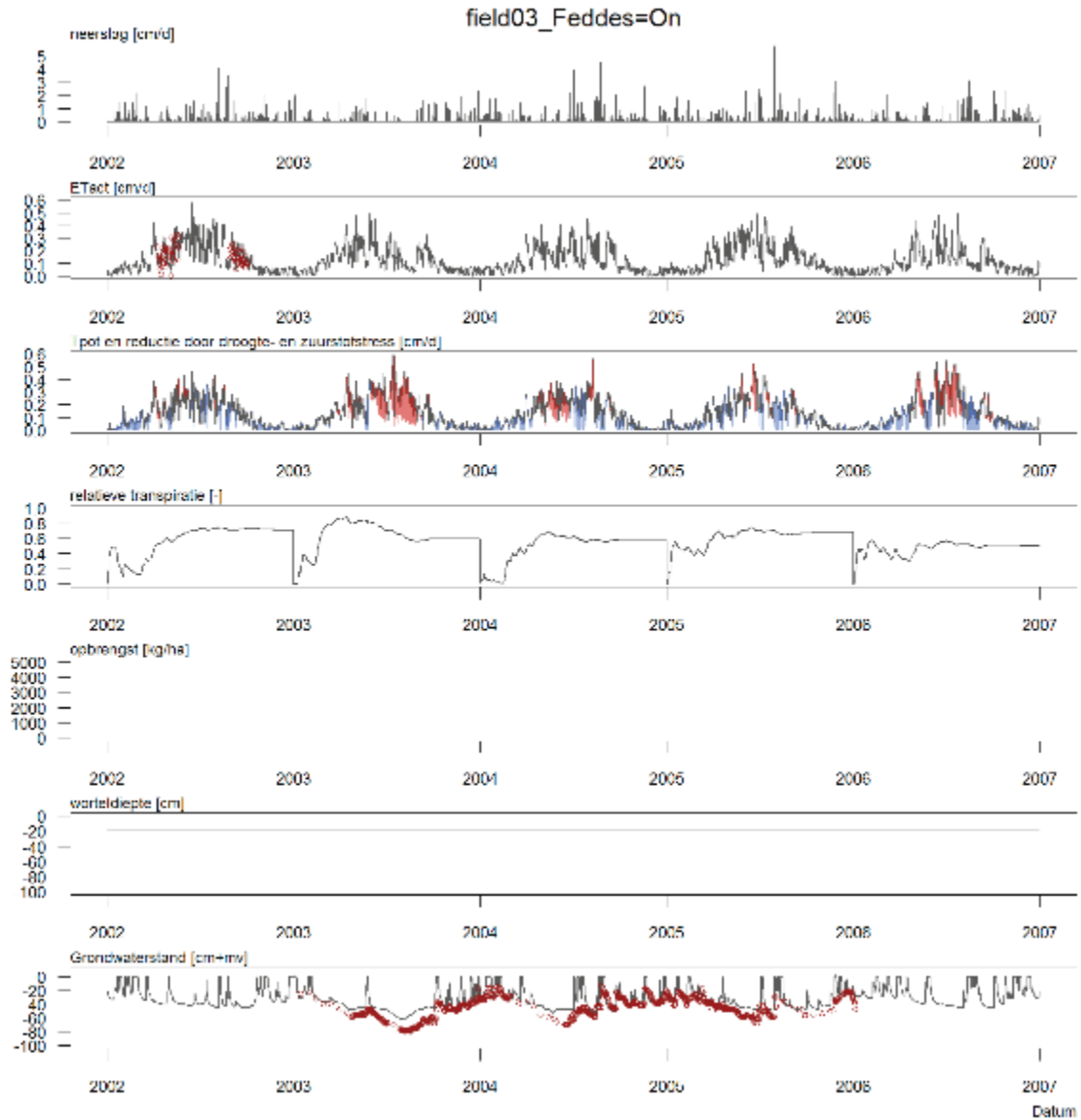
Voor Zegveld is een tweetal percelen doorgerekend: perceel 3 en perceel 12. In onderstaande figuren is een selectie van de doorgerekende situaties gegeven. Steeds worden simulaties met SWAP-WOFOST met zuurstofstress volgens Feddes, SWAP met zuurstofstress volgens Feddes en SWAP met zuurstofstress volgens de zuurstofmodule van Bartholomeus et al. (2008) met elkaar vergeleken. Achtereenvolgens wordt getoond:

- Figuur 9 - 11: geven voor elk van de modelvarianten voor perceel 3:
 - Gemeten neerslag
 - Gesimuleerde en gemeten actuele verdamping (bodemverdamping + transpiratie + interceptieverdamping)
 - Gesimuleerde potentiële en actuele transpiratie, met reductie door droogte- of zuurstofstress
 - Relatieve transpiratie
 - Gesimuleerde en gemeten gewasopbrengst (alleen voor simulaties met WOFOST)
 - Worteldiepte
 - Gesimuleerde en gemeten grondwaterstand
- Figuur 12 toont voor elk van de modelvarianten voor perceel 3 hoe goed de gesimuleerde en gemeten actuele verdamping (Eddy Correlatie metingen) met elkaar overeenkomen. Ook wordt het verschil tussen (gesimuleerde) potentiële verdamping en gemeten actuele verdamping, ofwel de verdampingsreductie vergeleken met transpiratiereductie door zuurstofstress (Tredwet) en door droogtestress (Treddry). Steeds is de Root Mean Squared Error (RMSE) berekend. De RMSE geeft de nauwkeurigheid waarmee de gesimuleerde actuele verdamping de Eddy Correlatie schattingen nabootst en hoe goed de verdampingsreductie verklaard wordt uit Tredwet en Treddry. Daarnaast is de som gegeven van: de potentiële verdamping, de actuele verdamping, het verschil tussen beide ('gemeten' verdampingsreductie, ETred_obs), Tredwet, Treddry en de totale transpiratiereductie (Tredtot = Tredwet + Treddry). Indien de metingen en model-simulaties perfect zijn, is Tredtot gelijk aan ETred_obs.
- Figuur 13 is gelijk aan Figuur 12, maar de gemeten actuele verdamping is bepaald met ETLook.
- Figuur 14 - 18 geven de resultaten voor perceel 12.
- Tabel 3 geeft de resultaten voor alle modelvarianten.

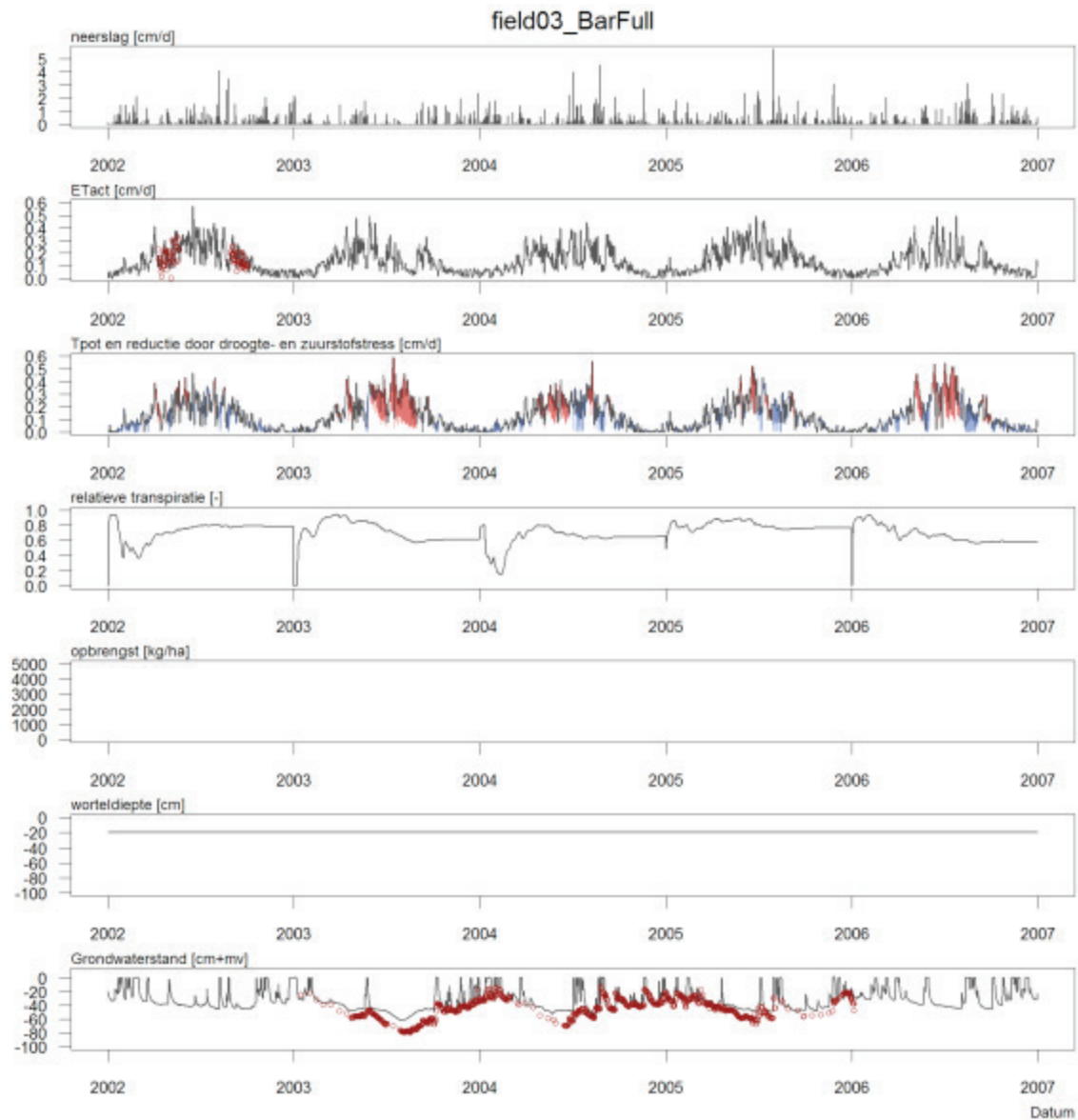
FIGUUR 9: SIMULATIES VOOR ZEGVELD, PERCEEL 3. VAN BOVEN NAAR BENEDEN: NEERSLAG; GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) ACTUELE VERDAMPING; GESIMULEERDE POTENTIELE EN ACTUELE TRANSPIRATIE, MET REDUCTIE DOOR DROOGTE (ROOD) OF ZUURSTOFSTRESS (BLAUW); RELATIEVE TRANSPIRATIE; GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) GEWASOPBRENGST, WORTELDEPTIE EN GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) GRONDWATERSTAND. GEBRUIKT MODEL: SWAP-WOFOST MET FEDDES-FUNCTIE VOOR NATSCHADE.



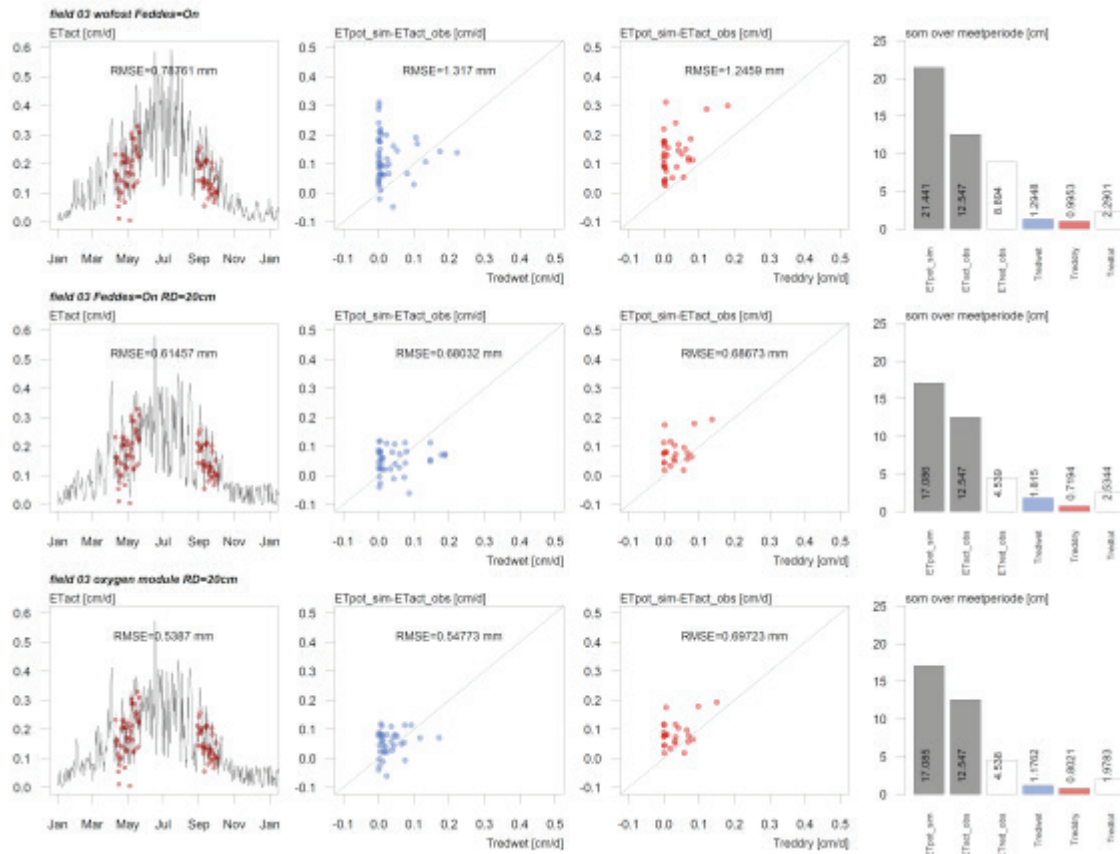
FIGUUR 10: IDEM ALS FIGUUR 9 MAAR MET EEN GEBRUIKT MODEL: SWAP MET STATISCH GEWAS EN FEDDES-FUNCTIE VOOR NATSCHADE.



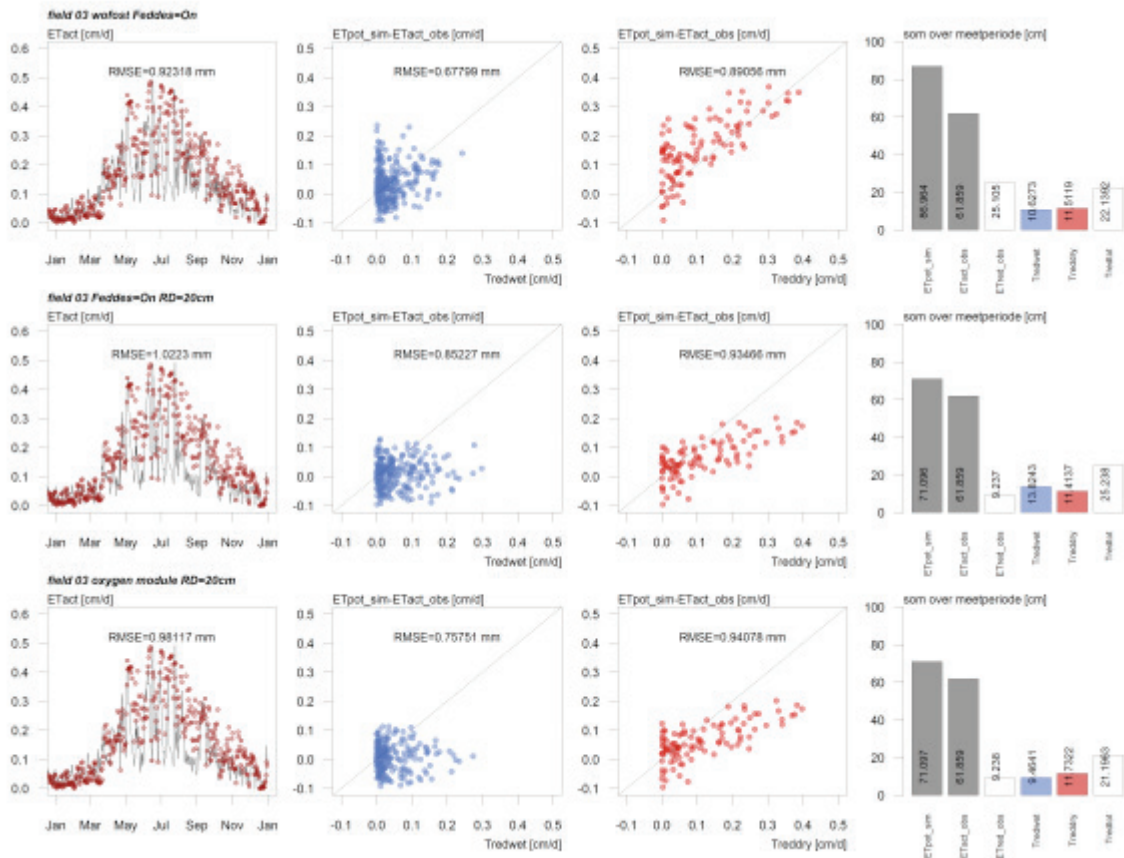
FIGUUR 11: IDEEM ALS FIGUUR 9 MAAR MET GEBRUIKT MODEL: SWAP MET STATISCH GEWAS EN ZUURSTOFMODULE VAN BARTHOLOMEUS ET AL. 2008.



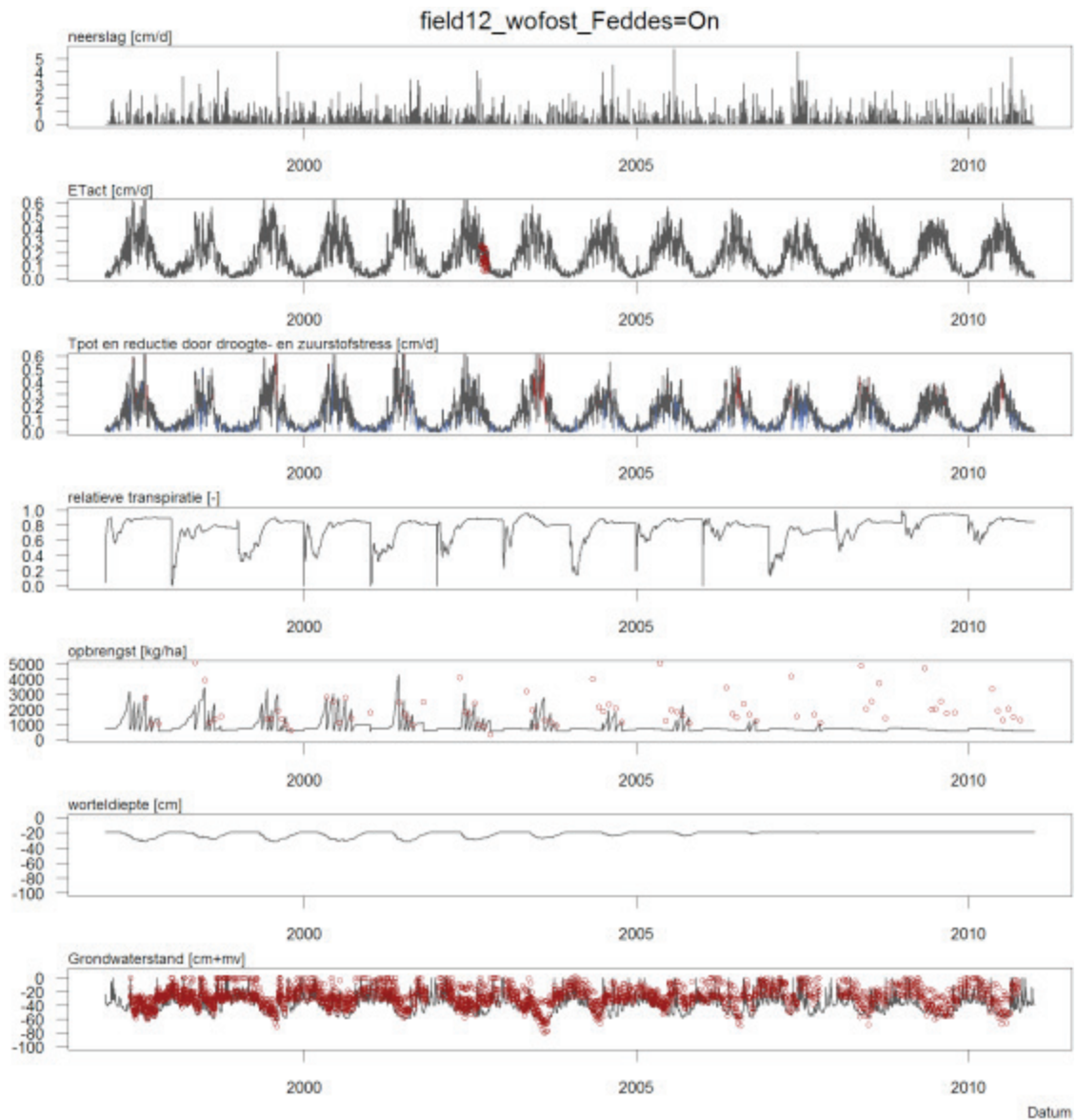
FIGUUR 12: KOLON 1: GESIMULEERDE EN GEMETEN ACTUELE VERDAMPING. KOLON 2 EN 3: DAGELIJKSE VERSCHIL TUSSEN POTENTIELE EN ACTUELE VERDAMPING IN MEETPERIODE ALS FUNCTIE VAN TE NATTE OMSTANDIGHEDEN (TREDWET, KOLON 2) EN TE DROGE OMSTANDIGHEDEN (TREDDRY, KOLON 3). KOLON 4: SOM VAN DE POTENTIELE VERDAMPING, SOM VAN ACTUELE VERDAMPING, HET VERSCHIL TUSSEN BEIDE ('GEMETEN' VERDAMPINGSREDUCTIE), SOM VAN TREDWET, SOM VAN TREDDRY EN DE TOTALE REDUCTIE (TREDTOT). IDEALITER IS TREDTOT GELIJK AAN ETRED_OBS. DE BOVENSTE RIJ GEEFT DE RESULTATEN VOOR SWAP-WOFOST MET DE FEDDES-FUNCTIE, DE MIDDELSTE RIJ VOOR SWAP MET DE FEDDES-FUNCTIE EN DE ONDERSTE RIJ VOOR SWAP MET DE ZUURSTOFMODULE.



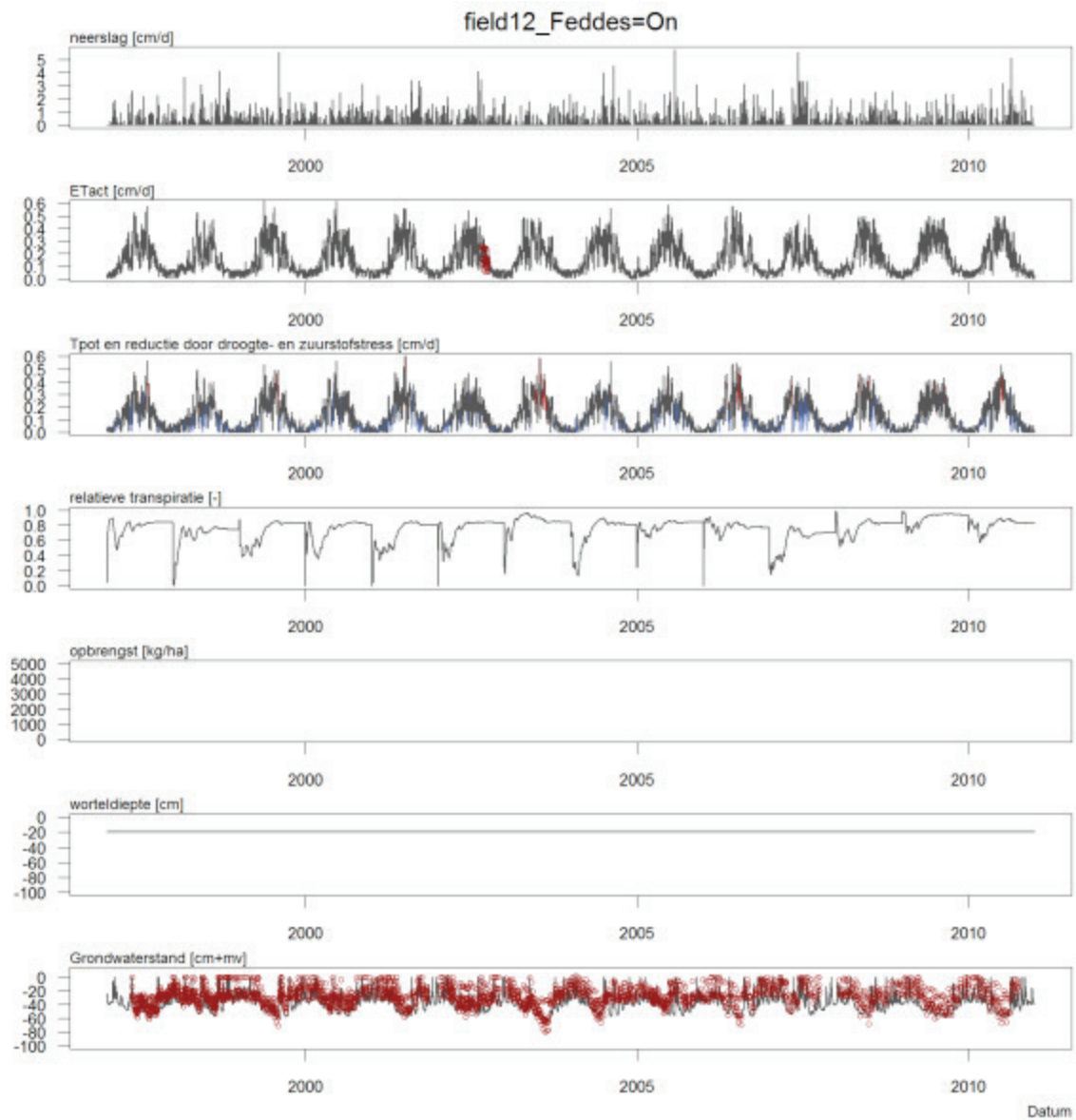
FIGUUR 13: IDEEM ALS FIGUUR 12, MAAR NU MET ETLOOK BEPAALDE ACTUELE VERDAMPING VOOR 2006.



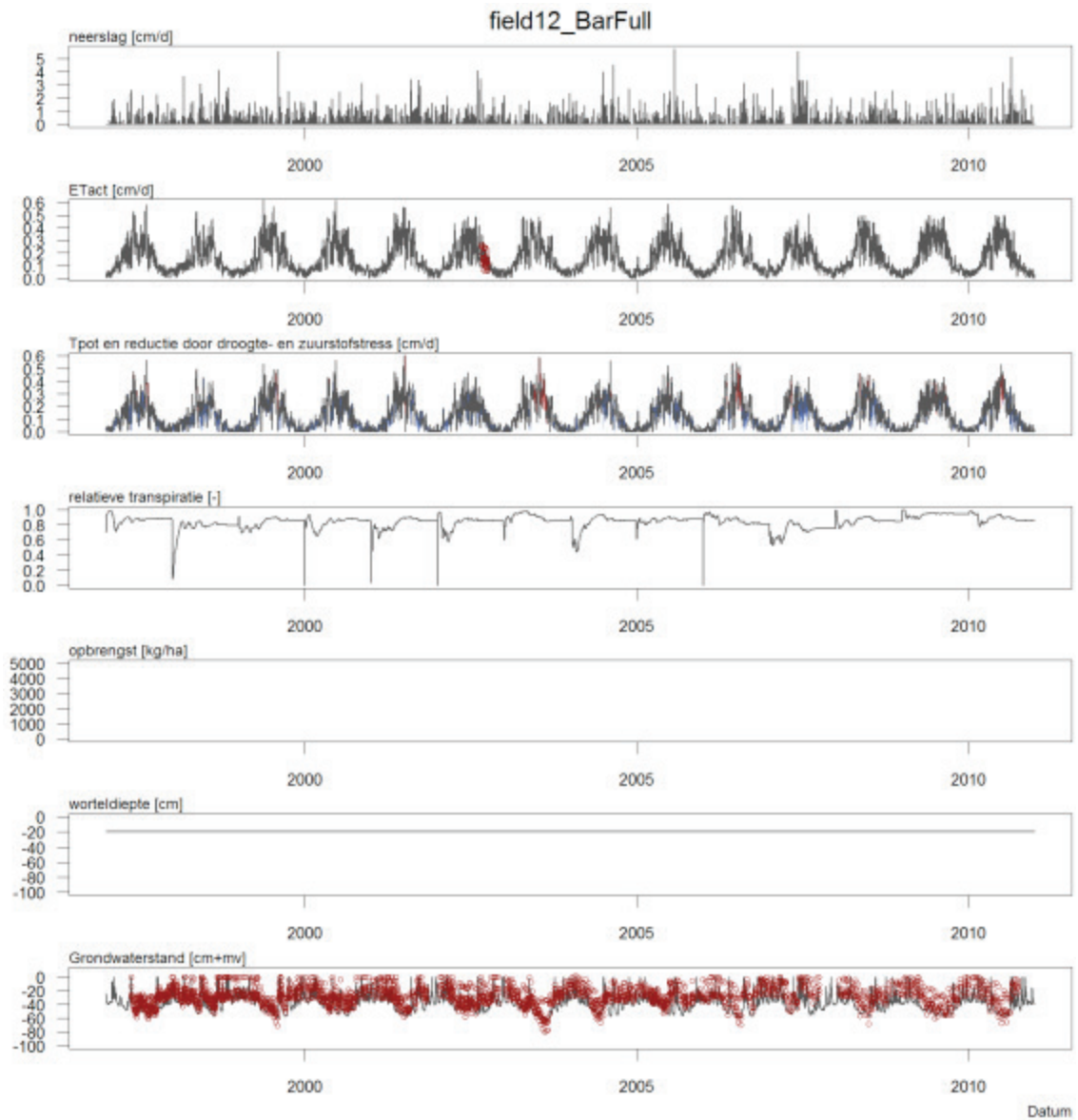
FIGUUR 14: IDEM ALS FIGUUR 9, MAAR NU VOOR ZEGVELD VELD 12. OPVALLEND IS DAT DE BEREKENDE WORTELGROEI EN GEWASOPBRENGST NA 2005 NAGENOEG NUL IS. DE OORZAAK HIERVAN IS NIET ACHTERHAALD, MAAR VERDIENT AANDACHT IN EEN VERVOLGFASE. GEBRUIKT MODEL: SWAP-WOFOST MET FEDDES-FUNCTIE VOOR NATSCHADE.



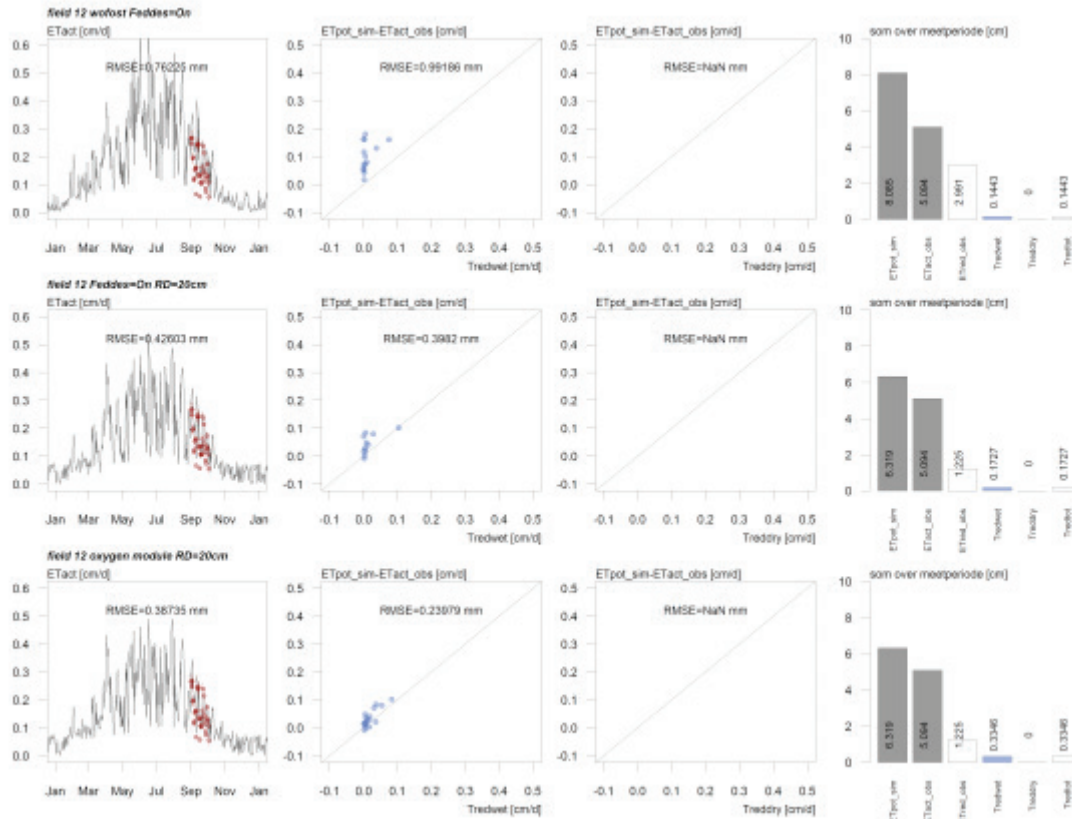
FIGUUR 15: IDEM ALS FIGUUR 14, MAAR NU GEBRUIKT MODEL: SWAP MET FEDDES-FUNCTIE VOOR NATSCHADE.



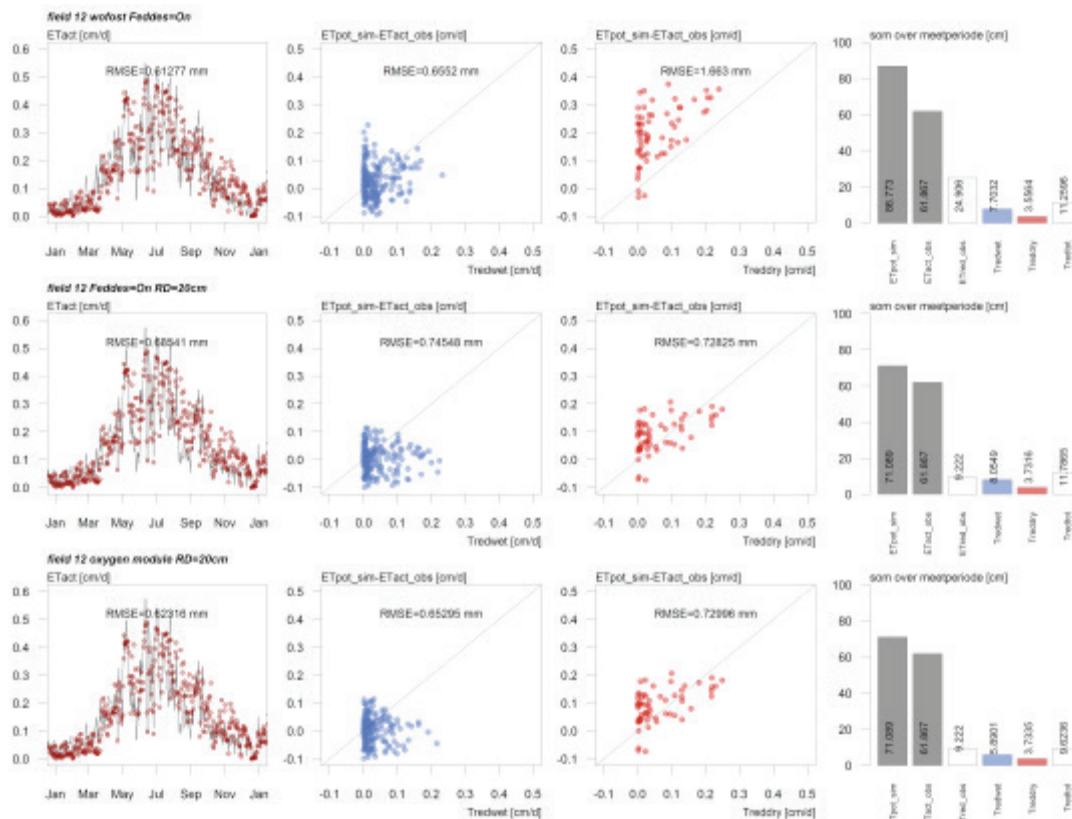
FIGUUR 16: IDEM ALS FIGUUR 14, MAAR NU GEBRUIKT MODEL: SWAP MET DE ZUURSTOFMODULE VAN BARTHOLOMEUS ET AL. (2008).



FIGUUR 17: IDEM ALS FIGUUR 12, MAAR NU VOOR ZEGVELD VELD 12.



FIGUUR 18: IDEM ALS FIGUUR 17, MAAR NU MET ETLOOK BEPAALDE ETACT VOOR 2006.



Tabel 3 geeft een overzicht van enkele statistische grootheden behorend bij de doorgerekende modelvarianten voor Zegveld perceel 3 en perceel 12. Daarin geeft de RMSE (Root Mean Squared Error) ETact de nauwkeurigheid aan waarmee de gesimuleerde actuele verdamping de Eddy Correlatie schattingen nabootst op dagbasis. RMSE voor Tredwet en RMSE Treddry geven de overeenkomst tussen 'gemeten' verdampingsreductie en transpiratiereductie door respectievelijk voor zuurstofstress en droogtestress op dagbasis. Voor de RMSE geldt: hoe lager, hoe beter. NaN betekent dat de waarde niet berekend kon worden, ofwel: voor Field 12 en EC metingen komt geen droogtestress voor. De ratio tussen de som van de 'gesimuleerde' transpiratiereductie en 'gemeten' actuele verdampingsreductie geeft aan hoe goed deze overeenkomen. Zowel de vergelijking met actuele verdampingsgegevens zoals verkregen via Eddy Correlatie-metingen (voor en najaar 2002) als via de ETLook-procedure (2006) is gegeven.

TABEL 3: OVERZICHT VAN ENKELE STATISTISCHE GROOTHEDEN BEHOOREND BIJ DE DOORGEREKENDE MODELVARIANTEN VOOR ZEGVELD PERCEEL 3 EN PERCEEL 12. RD = WORTEL DIEPTE (CM); ZUURSTOFSTRESS VOLGENS FEDDES IS DOORGEREKEND MET GRENSWAARDEN VAN H1 = -15 CM EN H2 = -25 CM (ON) EN H1 = H2 = 0 CM (OFF).

<i>Eddy Correlatie metingen</i>				RMSE (mm/d)			som (cm/periode metingen)		
		O2-stress	RD	ETact	Tredwet	Treddry	ETred_obs	Tred_tot	ratio
Field 03	Wofost+Feddes	on	sim	0.79	1.32	1.25	8.89	2.29	0.26
		off	sim	0.91	1.19	1.19	8.94	1.48	0.17
	Feddes	on	20	0.61	0.68	0.69	4.54	2.53	0.56
		on	40	0.60	0.66	0.83	4.54	3.61	0.80
		off	20	0.59	0.69	0.68	4.54	1.07	0.24
	O2-module	off	40	0.62	0.63	0.78	4.54	0.48	0.11
		on	20	0.54	0.55	0.70	4.54	1.93	0.43
		on	40	0.48	0.55	0.86	4.54	3.71	0.82
Field 12	Wofost+Feddes	on	sim	0.76	0.99	NaN	2.99	0.14	0.05
		off	sim	0.88	1.18	NaN	3.00	0.02	0.01
	Feddes	on	20	0.43	0.40	NaN	1.23	0.17	0.14
		on	40	0.35	0.35	NaN	1.23	0.55	0.45
		off	20	0.47	0.64	NaN	1.23	0.03	0.02
	O2-module	off	40	0.47	0.67	NaN	1.23	0.02	0.02
		on	20	0.39	0.24	NaN	1.23	0.33	0.27
		on	40	0.29	0.29	NaN	1.23	1.39	1.13

<i>ETLook procedure</i>				RMSE (mm/d)			som (cm/periode metingen)		
			RD	ETact	Tredwet	Treddry	ETred_obs	Tred_tot	ratio
Field 03	Wofost+Feddes	on	sim	0.92	0.68	0.89	25.11	22.14	0.88
		off	sim	0.93	0.60	0.88	25.11	15.75	0.63
	Feddes	on	20	1.02	0.85	0.93	9.24	25.24	2.73
		on	40	0.86	0.82	0.68	9.24	23.49	2.54
		off	20	0.96	0.85	0.95	9.24	18.13	1.96
	O2-module	off	40	0.77	0.70	0.68	9.24	14.33	1.55
		on	20	0.98	0.76	0.94	9.24	21.22	2.30
		on	40	0.85	0.76	0.65	9.24	22.06	2.39
Field 12	Wofost+Feddes	on	sim	0.61	0.66	1.66	24.91	11.26	0.45
		off	sim	0.62	0.61	1.58	25.07	5.23	0.21
	Feddes	on	20	0.69	0.75	0.73	9.22	11.79	1.28
		on	40	0.69	0.74	0.86	9.22	12.73	1.38
		off	20	0.56	0.67	0.72	9.22	5.34	0.58
	O2-module	off	40	0.55	0.58	0.88	9.22	3.72	0.40
		on	20	0.62	0.65	0.73	9.22	9.62	1.04
		on	40	0.64	0.72	0.89	9.22	13.99	1.52

4.2 CABAUW

4.2.1 REKENEXPERIMENTEN

Voor Cabauw is een perceel doorgerekend dat past bij de meetmast. Evenals voor Zegveld is in onderstaande figuren een selectie van de doorgerekende situaties gegeven. Steeds worden simulaties met SWAP-WOFOST met zuurstofstress volgens Feddes, SWAP met zuurstofstress volgens Feddes en SWAP met zuurstofstress volgens de zuurstofmodule van Bartholomeus et al. (2008) met elkaar vergeleken. Van de variant met een bewortelingsdiepte van 20 cm worden resultaten getoond.

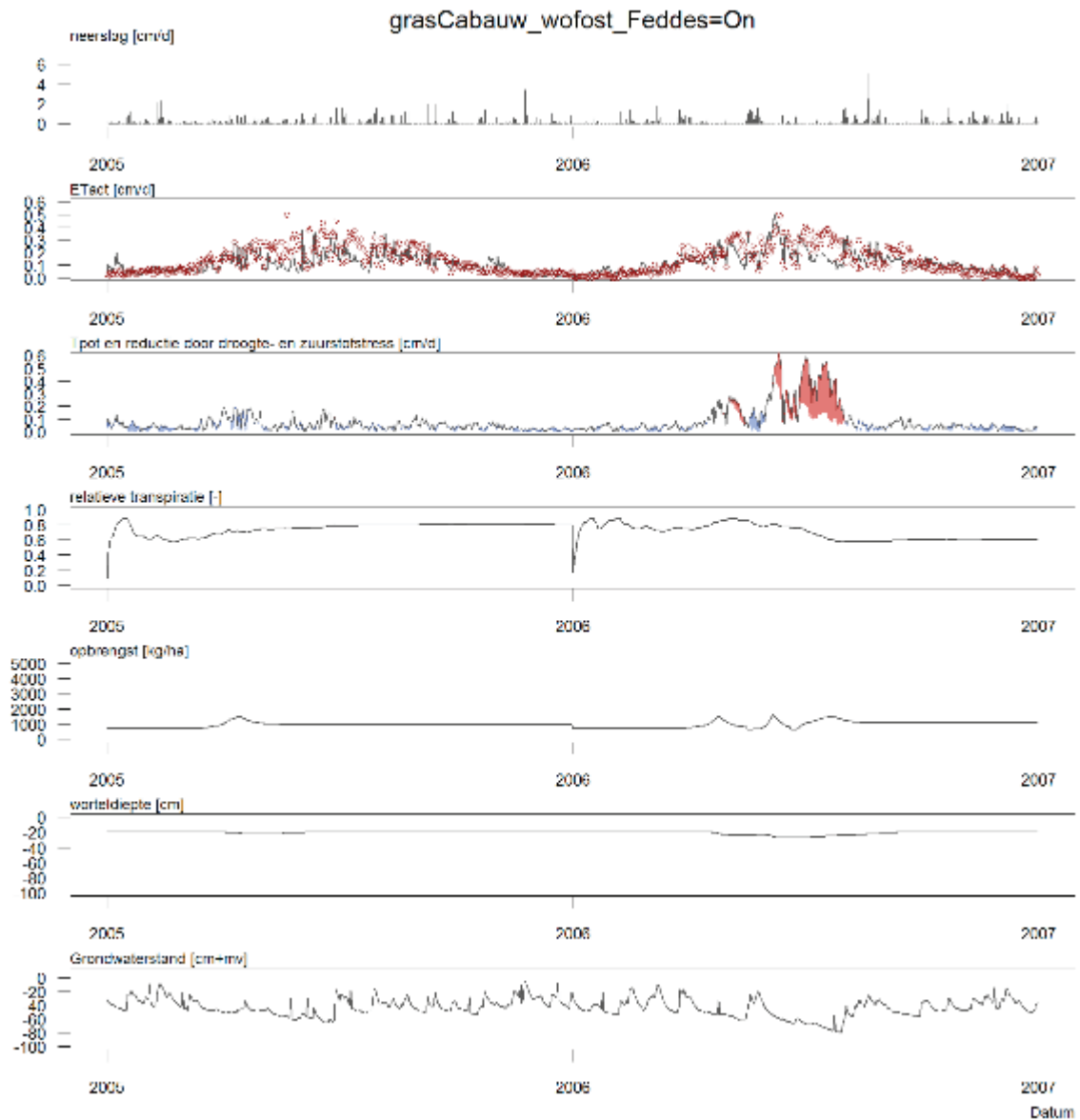
In Figuur 19 - 21 wordt voor elk van de modelvarianten getoond:

- Gemeten neerslag
- Gesimuleerde en gemeten actuele verdamping (bodemverdamping + transpiratie + interceptieverdamping)
- Gesimuleerde potentiële en actuele transpiratie, met reductie door droogte- of zuurstofstress
- Relatieve transpiratie
- Gesimuleerde en gemeten gewasopbrengst (alleen voor simulaties met WOFOST)
- Worteldiepte
- Gesimuleerde en gemeten grondwaterstand

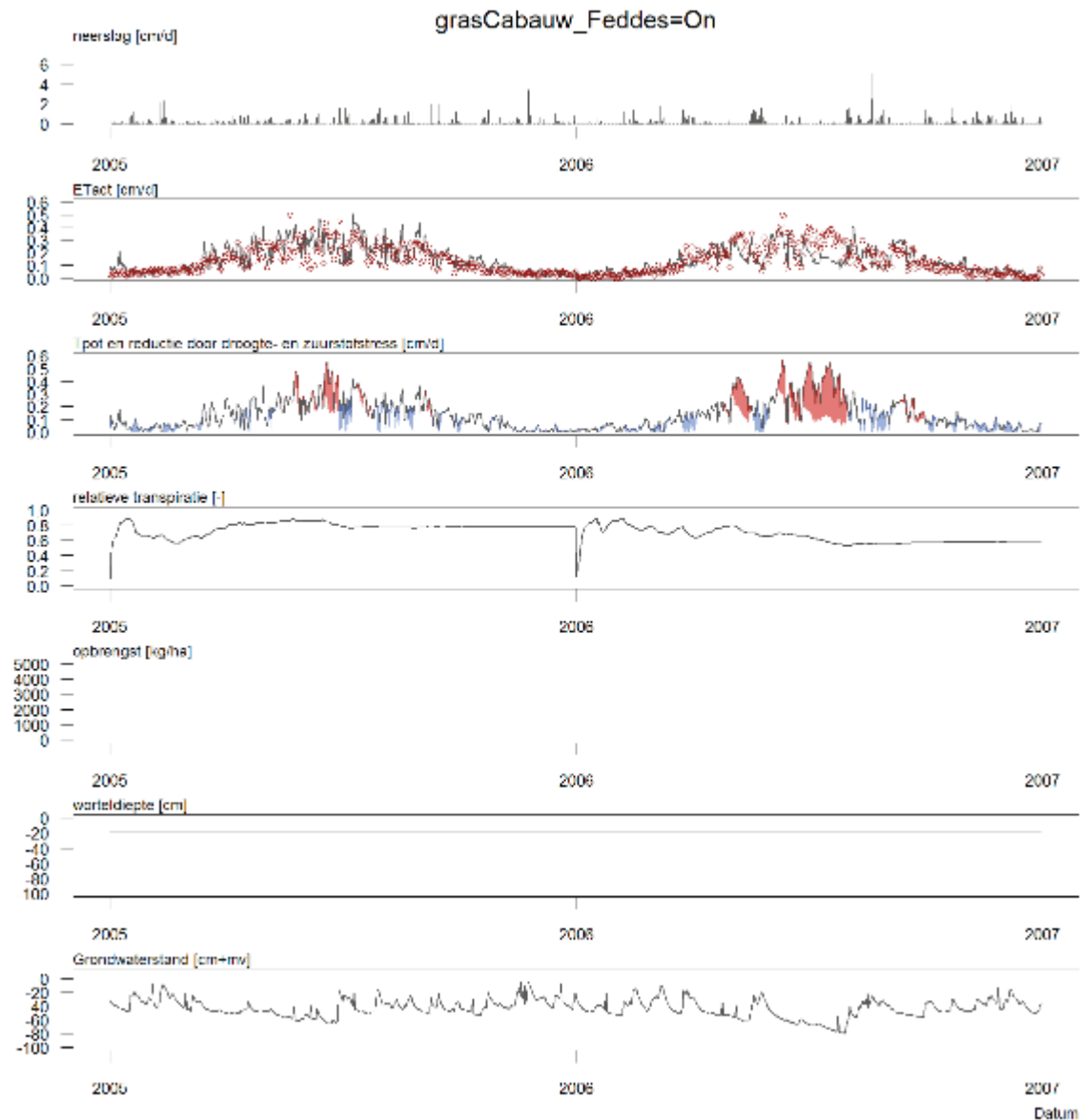
Figuur 22 toont voor elk van de modelvarianten hoe goed de gesimuleerde en gemeten actuele verdamping (Eddy Correlatie metingen) met elkaar overeenkomen. Ook wordt het verschil tussen (gesimuleerde) potentiële verdamping en gemeten actuele verdamping, ofwel de verdampingsreductie vergeleken met transpiratiereductie door zuurstofstress (Tredwet) en door droogtestress (Treddry). Steeds is de Root Mean Squared Error (RMSE) berekend. De RMSE's geven de nauwkeurigheid waarmee de gesimuleerde actuele verdamping de Eddy Correlatie schattingen nabootst en hoe goed de verdampingsreductie verklaard wordt uit Tredwet en Treddry.

Daarnaast is de som gegeven van: de potentiële verdamping, de actuele verdamping, het verschil tussen beide ('gemeten' verdampingsreductie, ETred_obs), Tredwet, Treddry en de totale transpiratiereductie (Tredtot = Tredwet + Treddry). Indien de metingen en modelsimulaties perfect zijn, moet Tredtot gelijk zijn aan ETred_obs.

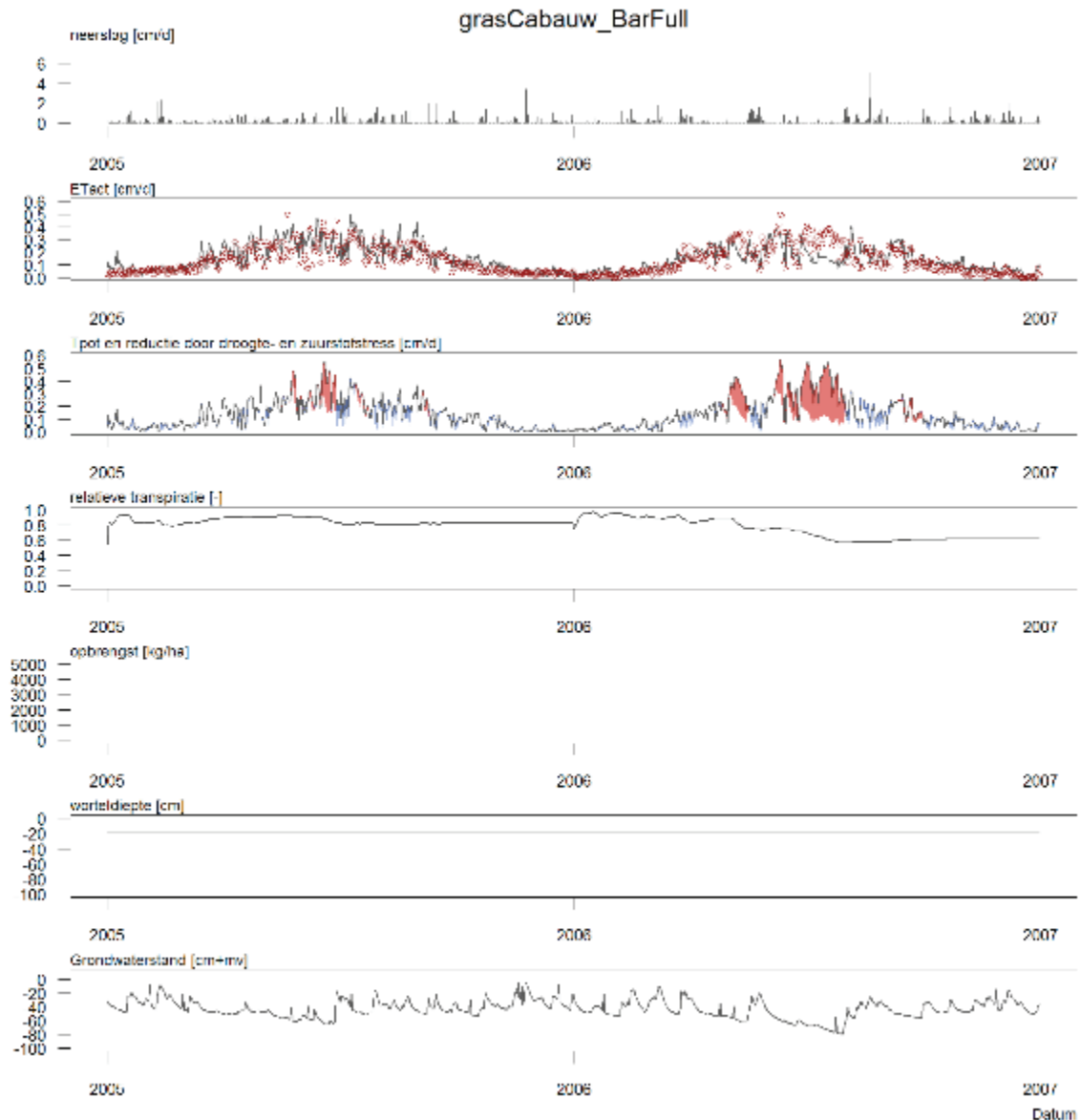
FIGUUR 19: SIMULATIES VOOR CABAUW. VAN BOVEN NAAR BENEDEN: NEERSLAG; GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) ACTUELE VERDAMPING; GESIMULEERDE POTENTIELE EN ACTUELE TRANSPIRATIE, MET REDUCTIE DOOR DROOGTE (ROOD) OF ZUURSTOFSTRESS (BLAUW); RELATIEVE TRANSPIRATIE; GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) GEWASOPBRENGST, WORTELDEPTE EN GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) GRONDWATERSTAND. GEBRUIKT MODEL: SWAP-WOFOST MET FEDDES-FUNCTIE VOOR NATSCHADE.



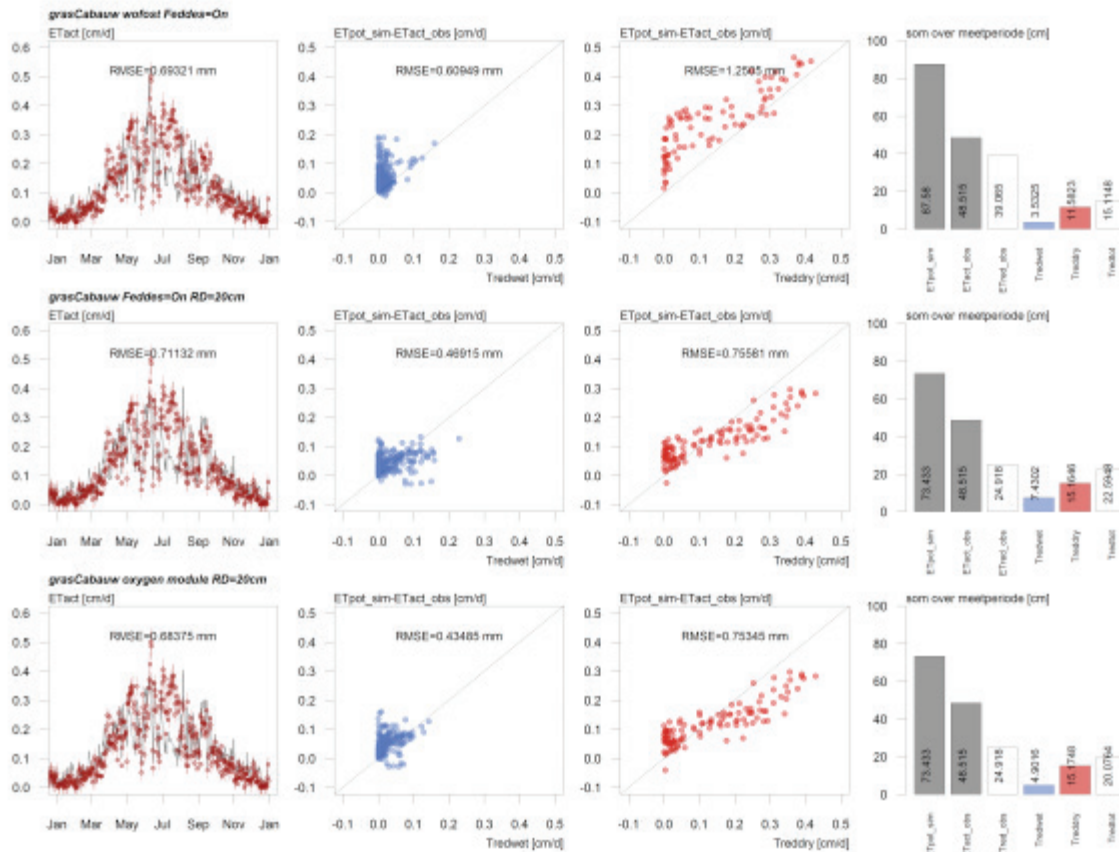
FIGUUR 20: SIMULATIES VOOR CABAUW. VAN BOVEN NAAR BENEDEN: NEERSLAG; GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) ACTUELE VERDAMPING; GESIMULEERDE POTENTIELE EN ACTUELE TRANSPIRATIE, MET REDUCTIE DOOR DROOGTE (ROOD) OF ZUURSTOFSTRESS (BLAUW); RELATIEVE TRANSPIRATIE; GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) GEWASOPBRENGST, WORTELDIEPTE EN GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) GRONDWATERSTAND. GEBRUIKT MODEL: SWAP MET FEDDES-FUNCTIE VOOR NATSCHADE.



FIGUUR 21: SIMULATIES VOOR CABAUW. VAN BOVEN NAAR BENEDEN: NEERSLAG; GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) ACTUELE VERDAMPING; GESIMULEERDE POTENTIELE EN ACTUELE TRANSPIRATIE, MET REDUCTIE DOOR DROOGTE (ROOD) OF ZUURSTOFSTRESS (BLAUW); RELATIEVE TRANSPIRATIE; GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) GEWASOPBRENGST, WORTELDEPTE EN GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) GRONDWATERSTAND. GEBRUIKT MODEL: SWAP MET ZUURSTOFMODULE VOLGENS BARTHOLOMEUS ET AL. (2008)



FIGUUR 22: KOLON 1: GESIMULEERDE EN GEMETEN ACTUELE VERDAMPING. KOLON 2 EN 3: DAGELIJKSE VERSCHIL TUSSEN POTENTIELE EN ACTUELE VERDAMPING IN MEETPERIODE ALS FUNCTIE VAN TE NATTE OMSTANDIGHEDEN (TREDWET, KOLON 2) EN TE DROGE OMSTANDIGHEDEN (TREDDRY, KOLON 3). KOLON 4: SOM VAN DE POTENTIELE VERDAMPING, SOM VAN ACTUELE VERDAMPING, HET VERSCHIL TUSSEN BEIDE ('GEMETEN' VERDAMPINGSREDUCTIE), SOM VAN TREDWET, SOM VAN TREDDRY EN DE TOTALE REDUCTIE (TREDTOT). IDEALITER IS TREDTOT GELIJK AAN ETRED_OBS. DE BOVENSTE RIJ GEEFT DE RESULTATEN VOOR SWAP-WOFOST MET DE FEDDES-FUNCTIE, DE MIDDELSTE RIJ VOOR SWAP MET DE FEDDES-FUNCTIE EN DE ONDERSTE RIJ VOOR SWAP MET DE ZUURSTOFMODULE.



4.2.2 BEPERKTE GEVOELIGHEIDSANALYSE CABAUW

Voor het rekenexperiment met de gegevens van Cabauw is een beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om het effect van de aanpassingen in de gewasparametrisering te verkennen. Twee verkenningen zijn uitgevoerd: i) effect van compensatie door wortels en ii) effect van wortel diepte op de verdamping in 2006. Zie bijlage A voor toelichting.

De volgende simulaties zijn uitgevoerd:

- Referentie: statisch gewas en natschade volgens Feddes;
- Compensatie door wortels volgens Jarvis (1989) met $\alpha_{\text{phacrit}}=0.2$;
- Als b) aangevuld met een verdieping van de wortelzone van 20 naar 40 cm.

De actuele verdamping (ET_{act}) is gegeven als observatie (EC-meting Elbers et al, 2009) en als rekenresultaat. Het rekenresultaat is de som van 5 verdampingstermen: interceptie, bodem, gewas, ponding en sublimatie. Voor 2006 zijn alleen de eerste 3 termen van belang.

De actuele verdamping volgens Elbers et al. (2009) is gebaseerd op EC-metingen waarbij de ontbrekende dagtotalen zijn aangevuld met door een Artificieel Neuraal Netwerk gesimuleerde gegevens. De meetresultaten van hun studie "zijn dan ook niet statisch, maar vertegenwoordigen de huidige stand van zaken" (Elbers et al., 2009, p.15). Elbers et al. (2009) geven ook een onzekerheid aan van de gemeten actuele verdamping.

Gesimuleerde en gemeten resultaten voor 2006 zijn gegeven in figuren 23, 24 en 25 respectievelijk als jaartotalen, maandtotalen en dagelijkse waarden voor de maand juli 2006. In tabel 4 zijn de numerieke waarden gegeven.

In juli 2006 is de gesimuleerde actuele verdamping (44 mm) veel lager dan de ondergrens van de meting (85 mm). Door introductie van het compensatie-mechanisme stijgt de actuele verdamping tot 53 mm en door verdieping van de wortelzone ontstaat een verdamping van 95 mm. De jaartotalen zijn bij de diepe beworteling te hoog (617 mm terwijl obs_max 566 mm is).

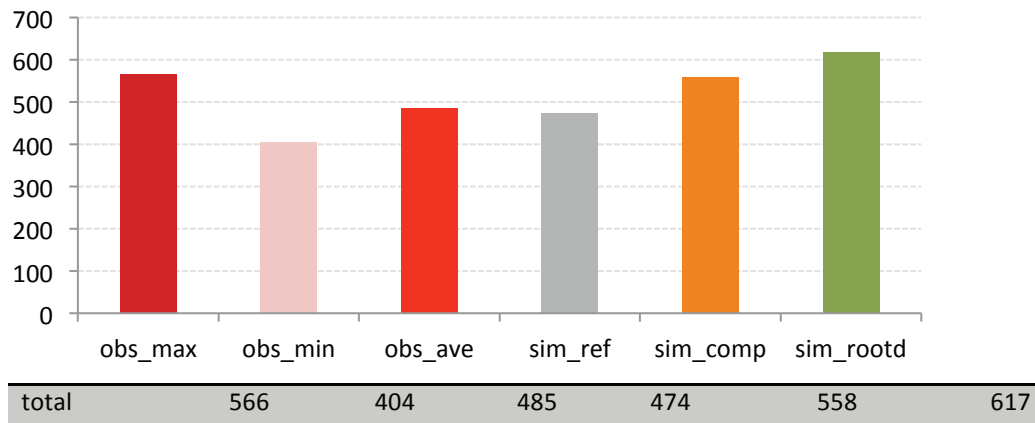
Het is slechts een zeer beperkte gevoeligheidsanalyse, want bijvoorbeeld onzekerheden in grondwaterstanden, vochtgehalten en bodemfysica zijn vooralsnog buiten beschouwing gebleven. Uit deze beperkte gevoeligheidsanalyse blijkt het belang van nauwkeurige parameters en toetsing aan lokale omstandigheden.

TABEL 4: GEMETEN (OBS) EN GESIMULEERDE MAANDELIJKSE ACTUELE VERDAMPING IN CBAUW IN 2006.

maand	obs_max	obs_min	obs_ave	sim_ref	sim_comp	sim_rootd
jan	9	0	5	11	12	12
feb	15	4	10	15	16	16
mrt	34	22	28	29	32	32
apr	59	46	52	59	62	62
mei	82	64	73	56	78	87
jun	88	70	79	80	97	108
jul	104	85	94	44	53	95
aug	59	42	50	55	66	65
sep	56	43	49	59	68	68
okt	31	20	26	34	37	37
nov	16	6	11	18	21	20
dec	13	2	7	14	15	15
total	566	404	485	474	558	617

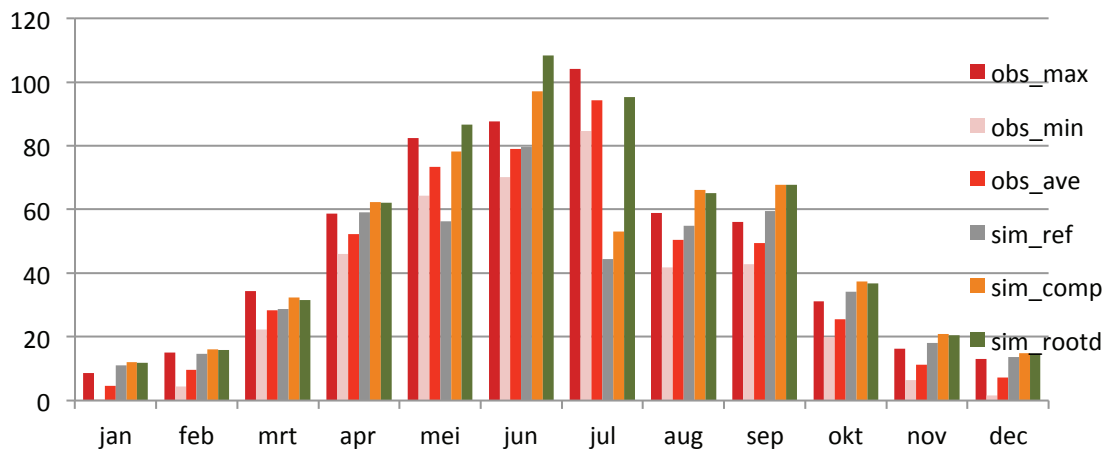
FIGUUR 23: DE ACTUELE VERDAMPING IN CABAUW IN 2006 (JAARTOTAAL): GEMETEN (OBS_MAX, OBS_MIN, OBS_AVE) EN GESIMULEERD VOOR DE REFERENTIE-TOESTAND (SIM_REF), MET COMPENSATIE (SIM_COMP) EN MET DIEPERE BEWORTELING (SIM_ROOTD).

ET act (mm/jaar) in 2006

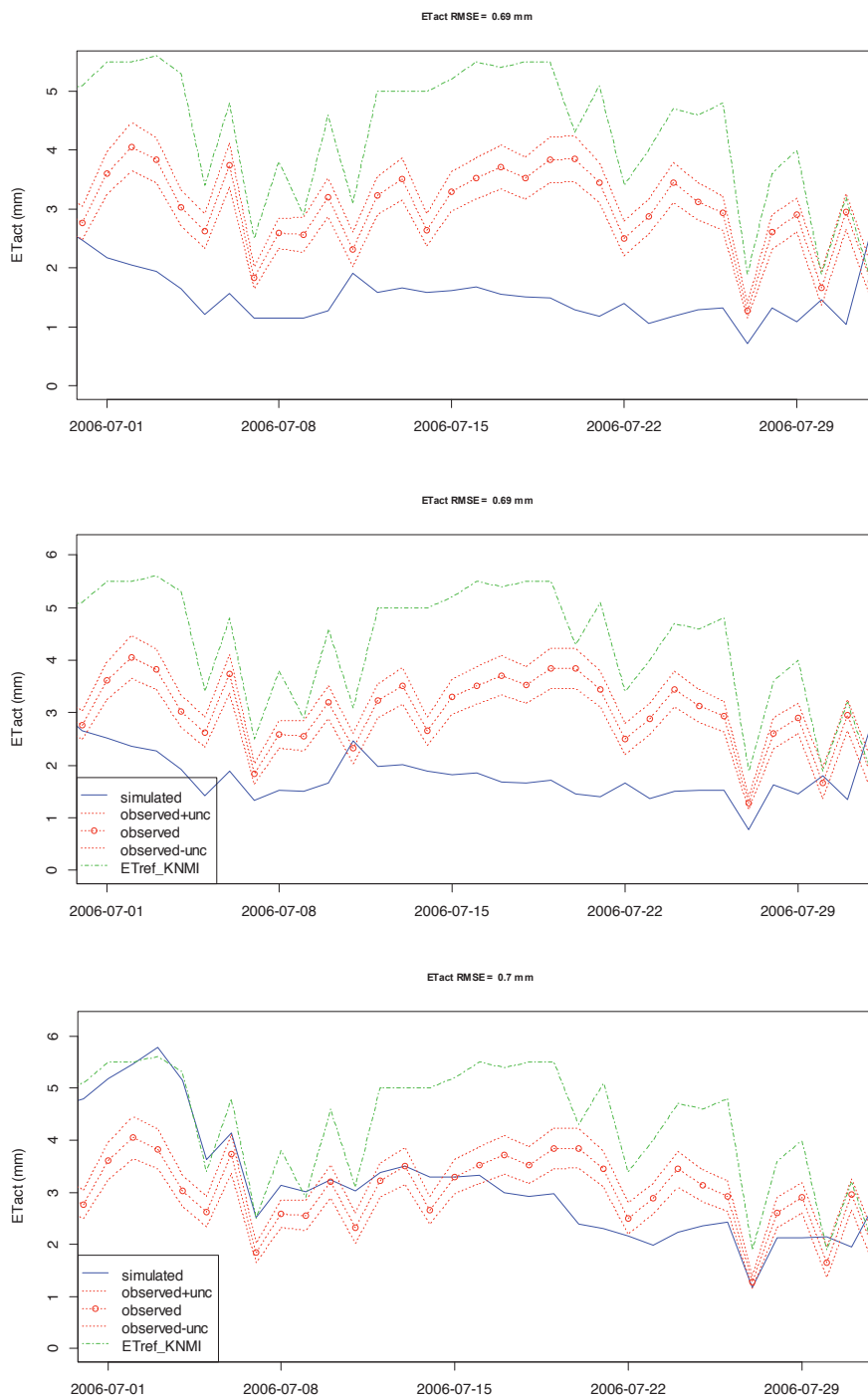


FIGUUR 24: DE ACTUELE VERDAMPING IN CABAUW IN 2006 : MAANDTOTALEN, GEMETEN (OBS_MAX, OBS_MIN, OBS_AVE) EN GESIMULEERD VOOR DE REFERENTIE-TOESTAND (SIM_REF), MET COMPENSATIE (SIM_COMP) EN MET DIEPERE BEWORTELING (SIM_ROOTD)

ET act (mm/maand) Cabauw in 2006



FIGUUR 25: DE ACTUELE DAGELIJKSE VERDAMPING (MM/D) IN CABAUW IN JULI 2006 : GEMETEN (IN ROOD: OBSERVED+UNC, OBSERVED, OBSERVED-UNC), GESIMULEERD (BLAUWE LIJN) EN ETREF (GROENE STIPPELLIJN) VOOR DE REFERENTIE-TOESTAND (BOVENSTE FIGUUR), MET COMPENSATIE (MIDDELSTE FIGUUR) EN MET DIEPERE BEWORTELING (ONDERSTE FIGUUR)



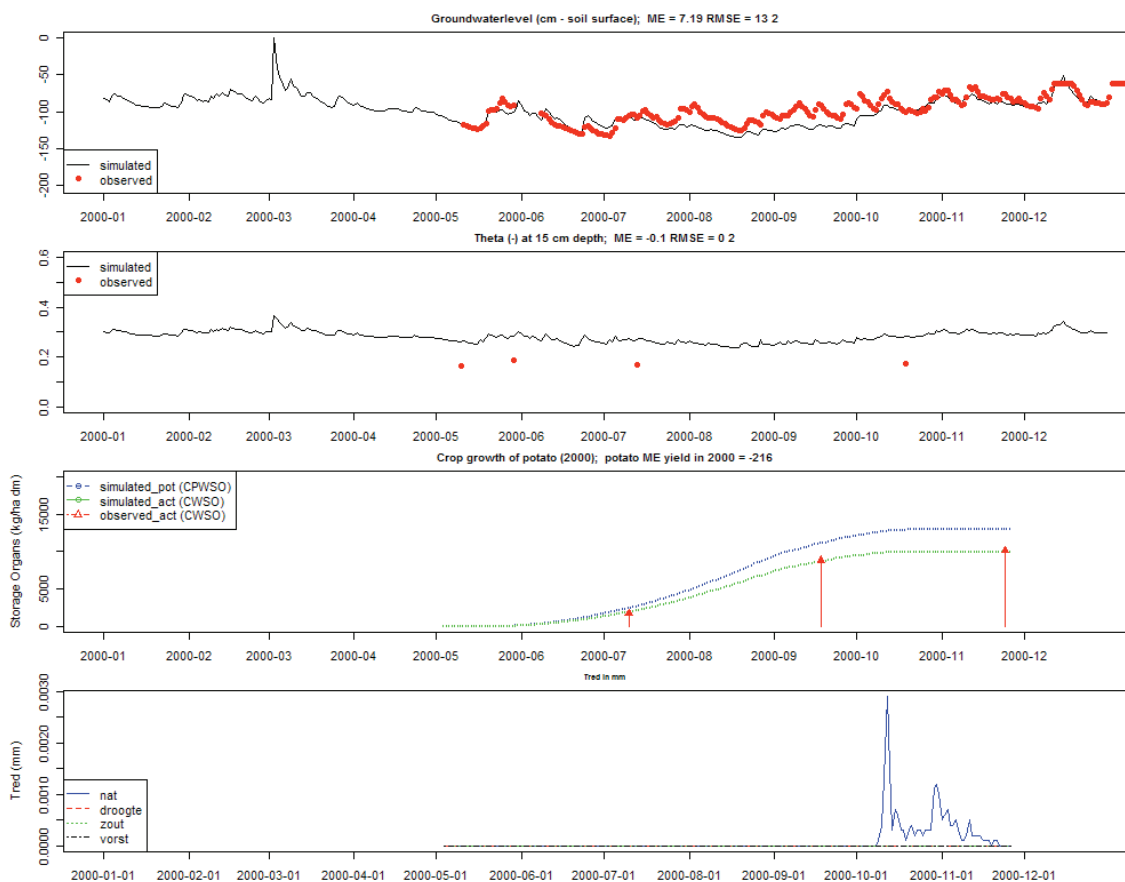
4.3 ROSWINKEL

Er is gerekend voor 3 situaties:

- Statisch gewas met natschade volgens Feddes
- Statisch gewas met natschade volgens Bartholomeus
- Dynamisch gewas (SWAP-WOFOST) met natschade volgens Feddes

De resultaten van a) en b) waren identiek omdat natschade niet voorkwam in de gemodelleerde situatie. Bij c) is enige natschade gemodelleerd in de maand okt-nov 2000. De waarde is echter zeer gering (max <0.003 mm, zie figuur 26).

FIGUUR 26: SIMULATIES VOOR ROSWINKEL: DYNAMISCHE GEWASGROEI IN COMBINATIE MET NATSCHADE VOLGENS FEDDES. VAN BOVEN NAAR BENEDEN: GESIMULEERDE EN GEMETEN (PUNTEN) GRONDWATERSTAND (CM-MV), VOCHTGEHALTE (-) OP 15 CM-MV, GEWASPRODUKTIE AARDAPPELKNOLLEN (KG/HA DM) EN HET DAGELIJKSE VERSCHIL TUSSEN ACTUELE EN POTENTIELE GEWASVERDAMPING (TRED IN MM/D) DOOR OMSTANDIGHEDEN DIE ZIJN TE NAT, DROOG, ZOUT OF VORST.



4.4 ZOUT

4.4.1 VOORBEELDBEREKENING ZOUTSCHADE

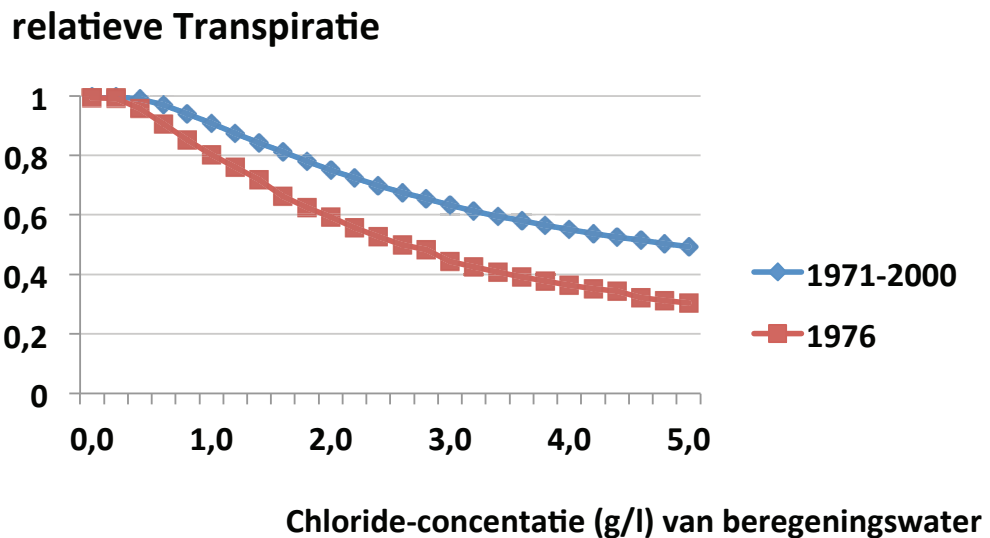
Met de randvoorwaarden, schematisering en gegevens die eerder zijn besproken (par. 3.1.4 of 3.3) zijn berekeningen uitgevoerd voor een klimaatreeks (30 jr) om is na te gaan of de relatie tussen zoutconcentratie in het beregeningswater en zoutschade een logisch verband laat zien.

Resultaten van de voorbeeldberekeningen voor zoutschade bij aardappelen met de combinatie SWAP-WOFOST- zijn gegeven voor het langjarige gemiddelde van de klimaatreeks

1971-2000 en voor het jaar 1976 apart (figuur 27). De gecombineerde water-zout-gewasgroei-modellering leidt, bij toenemende concentraties van het irrigatiewater, tot een daling van de transpiratie-reductie.

Ook geeft het notoir droog jaar 1976 meer zoutshade dan gemiddeld bij elke doorgerekende chlorideconcentratie, hetgeen ook is te verwachten. Er wordt immers meer beregend waardoor de chlorideconcentratie in de wortelzone in een droog jaar meer tendeert naar die in het beregeningswater. Hieruit blijkt dat de relatie tussen chlorideconcentratie in het beregeningswater en zoutshade (als verdampingsreductie) er qua vorm plausibel uitziet. De in fase 1 opgeleverde versie van SWAP met verbeterde zoutmodule is een representatie van de huidige kennis.

FIGUUR 27: TRANSPIRATIE-REDUCTIE BIJ AARDAPPELEN BIJ OPLOPENDE ZOUTCONCENTRATIES VAN HET IRRIGATIEWATER



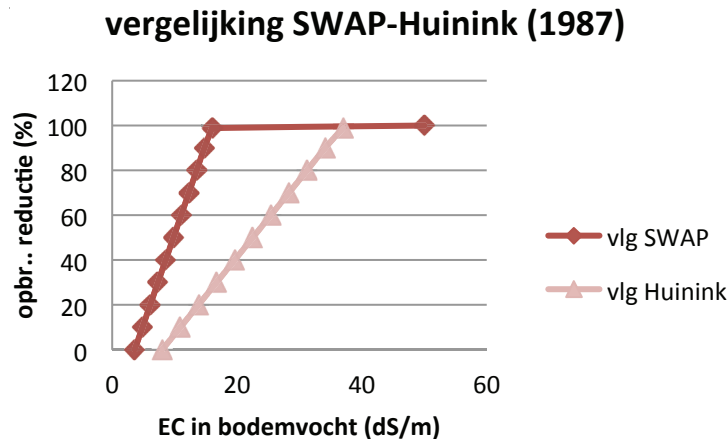
4.4.2 RESULTATEN OVERIGE PROEVEN EN KENNIS OVER ZOUTSHADE

De resultaten zijn vergeleken met Nederlandse praktijkproeven of met relaties die zijn gebaseerd op praktijkproeven en -kennis. In Van Bakel en Stuyt (2009) is getracht deze kennis samen te vatten. De conclusie is dat de praktijktabellen geen rekening houden met verschillen in grondsoort en verschillen in droogte tussen de jaren. Vergelijking met simulaties met SWAP leert dat de tabellen min of meer een worst case situatie representeren: geldig voor droge jaren en voor profielen met gering vochtbergend vermogen in de wortelzone.

Er is ook een vergelijking gemaakt met de relatie tussen de EC in wortelzone en de opbrengstreductie voor aardappelen zoals gegeven in Huinink (1987) en de geïnterpreteerde (factor 2 tussen Cl-concentratie in 'pasta' en bodemvocht) Maas-Hoffman-relatie die in SWAP wordt gebruikt (figuur 28).

FIGUUR 28:

VERGELIJKING TUSSEN RELATIE TUSSEN EC IN BODEMVOCHT EN OPBRENGSTREDUCTIE VOLGENS HUIJNINK (1987) EN EC IN BODEMVOCHT EN



De conclusie is dat zoutschade berekend met SWAP vanaf de zoutshadedrempel hoger is dan volgens Huinink (1987).

Om na te gaan of de SWAP-resultaten zijn te vergelijken met de ervaringen die zijn opgedaan door het Zilt Proefbedrijf op Texel is op 19 juli 2013 door Joop Kroes en Jan van Bakel een bezoek gebracht aan het bedrijf.

Het proefbedrijf experimenteert momenteel met 8 herhalingen van 7 verschillende zoutconcentraties in het beregeningswater bij een groot aantal gewassen en rassen, zowel reguliere als meer exotische teelten. De experimenten zijn praktisch opgezet met drip-irrigatie en worden in eerste instantie gebruikt voor het praktijknetwerk. Via een geavanceerd meet- en regelsysteem wordt per plot de zoutconcentratie in de wortelzone min of meer op de ingestelde waarde gehandhaafd. Dat betekent dat er vrijwel altijd moet worden over-geïrrigeerd.

NB: Voor gebruik in wetenschappelijk publicaties is nog relatief veel nabewerking nodig van de verzamelde gegevens. Daarvoor is geen budget beschikbaar. De beschikbare en nog beschikbaar komende informatie (want de proeven lopen door) biedt echter een uitgelezen kans de zoutshades te actualiseren. Daartoe moet wel actie worden ondernomen (voor samenwerking en financiering).

De belangrijkste bevindingen zijn:

- er is nieuwe informatie over zoutschade beschikbaar, die nodig verwerkt moet worden.
- het veldbezoek maakte duidelijk dat bestaande tabellen met zouttoleranties per gewas niet kloppen met de praktijkervaring. Twee voorbeelden: huidige gerstvarianten zijn volgens de proeven niet zout-tolerant, dit in tegenstelling tot gangbare opvatting dat gerst een zouttolerant gewas is; bladsla is volgens de proeven zeer zouttolerant terwijl het bekend staat als zoutgevoelig. Let wel: bladshade door 'bovenover' irrigeren kan bij de proeven niet optreden;
- de zoutgevoeligheid van aardappelen lijkt in de praktijk fors geringer dan nu wordt verondersteld. Bij een EC-waarde van het irrigatiewater (en dus ook in de wortelzone) lager dan 8 dS/m (ca. 2500 mg/l Cl) laten de experimenten geen opbrengstreductie zien, terwijl Van Bakel en Stuyt (2009) een grenswaarde van ca. 4 dS/m (1200 mg/l Cl) geven, gebaseerd op Maas-Hoffman (1977). Bij 2500 mg/l Cl in de wortelzone zou de verdampingsreductie berekend met SWAP ca. 25% zijn. Merk op dat de grens van 8 dS/m ongeveer gelijk is aan de grens volgens Huinink (1987) (zie bovenstaande figuur).
- De zoutgevoeligheid is ras-afhankelijk; sommige rassen en variëteiten zijn duidelijk gevoeliger dan andere. Hiermee zou in de beoordeling rekening moeten worden gehouden.

De belangrijkste conclusie is dat de proeven laten zien dat de huidige parameterisatie van de zouttolerantie actualisering behoeft. Deze conclusie moet wel worden voorzien van een wetenschappelijk fundament door de verzamelde gegevens uit te werken.

4.5 WATERPAS

4.5.1 SIMULATIE GRASGROEI ZONDER GROEIREDUCTIE

De grasproductie zonder groeireductie is uitgerekend bij een drukhoogte van -100 cm gedurende het gehele groeiseizoen. Dit betekent dat er geen groeireductie optrad door zuurstofstress of droogte. De berekende productie benadert zodoende de potentiële productie, gegeven de beschikbaarheid van stikstof (N). De resultaten voor droge stofopbrengst, N-opbrengst en N-recovery staan in Tabel 5. Daarbij zijn de uitgangspunten N-mestgift en N-leverend vermogen vermeld, op basis waarvan de N-recovery is berekend.

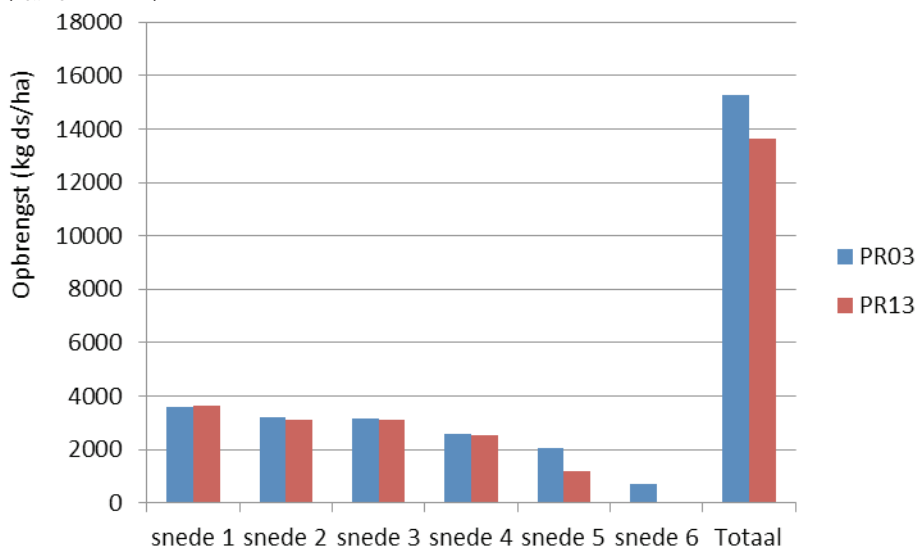
TABEL 5: DROGE STOFOPBRENGST, N-OPBRENGST EN N-RECOVERY VOOR PERCEEL PR03 EN PR13 GEGEVEN DE N-JAARGIFT EN HET N-LEVEREND VERMOGEN VAN DE BODEM

	Eenheid	PR03	PR13
Droge stofopbrengst berekend	(kg ha-1. Jaar-1)	15257	13623
N-opbrengst	(kg ha-1. Jaar-1)	422	333
N-jaargift	(kg ha-1. Jaar-1)	221	221
N-leverend vermogen (NLV)	(kg ha-1. Jaar-1)	300	200
N-recovery	(%)	81	79

De berekende droge stofopbrengst op jaarbasis zonder groeireductie is voor PR03 ongeveer 600 kg hoger dan de bepaalde opbrengst van 14619 kg per ha in 2005 en is voor PR13 ongeveer 200 kg lager dan de gerealiseerde opbrengst van 13827 kg per ha in 2007 (zie Tabel 6). Dit betekent dat het opbrengstniveau voor ongereduceerde groei goed benaderd lijkt te worden.

De droge stofopbrengsten per snede en per jaar staan in Figuur 29. Het verschil in opbrengsten tussen beide percelen van ongeveer 1.6 ton droge stof wordt verklaard door het verschil in stikstoflevering van 100 kg per ha per jaar en een lagere N-recovery. Daarbij heeft ook het opgelegde mairegime invloed op de productie. Het opbrengstverschil komt vooral tot uiting in de laatste sneden in het groeiseizoen.

FIGUUR 29: DROGE STOFOPBRENGSTEN VAN GRAS BEREKEND MET WATERPAS (DE VOS ET AL 2006) PER SNEDE EN PER JAAR (KG HA-1. JAAR-1) ZONDER GROEIREDUCTIE VOOR WAT BETREFT DE BODEMVOCHTSITUATIE BIJ GELIJKE STIKSTOFBEMESTING (221 KG N HA-1. JAAR-1). DE STIKSTOFLEVERING VANUIT DE BODEM BEDROEG VOOR DE PERCELEN PR03 EN PR13 RESPECTIEVELIJK 300 EN 200 KG N PER HA PER JAAR



TABEL 6: DROGE STOFOPBRENGST, N-OPBRENGST EN N-RECOVERY VOOR PERCEEL PR03 EN PR13 GEGEVEN DE N-MESTGIFT EN HET N-LEVEREND VERMOGEN, BEPAALD IN EEN VELDEXPERIMENT (HOVING ET AL, 2008; VIC ZEGVELD) EN BEREKEND MET WATERPAS (DE VOS ET AL 2006 MET GROEIREDUCTIE VOOR WAT BETREFT DE BODEMVOCHTSITUATIE

			2004	2005	2006	2007
<i>PR03</i>						
VIC Zegveld	DS-opbrengst	(kg/ha)	14092	14619	13163	13812
	N-opbrengst	(kg/ha)	374	413	397	329
	N-jaargift	(kg/ha)	228	220	220	195
	NLV	(kg/ha)	300	300	300	300
	N-recovery	(%)	71	79	76	66
Waterpas	DS-opbrengst	(kg/ha)	13201	11190	11511	13847
	N-opbrengst	(kg/ha)	431	430	434	428
	N-jaargift	(kg/ha)	227	221	227	227
	NLV	(kg/ha)	300	300	300	300
	N-recovery	(%)	82	82	82	81
<i>PR13</i>						
VIC Zegveld	DS-opbrengst	(kg/ha)	12574	12911	11777	13827
	N-opbrengst	(kg/ha)	336	274	334	367
	N-jaargift	(kg/ha)	225	220	220	195
	NLV	(kg/ha)	200	201	202	203
	N-recovery	(%)	79	65	79	92
Waterpas	DS-opbrengst	(kg/ha)	13773	14434	12398	14205
	N-opbrengst	(kg/ha)	326	325	306	339
	N-jaargift	(kg/ha)	227	221	227	227
	NLV	(kg/ha)	200	200	200	200
	N-recovery	(%)	76	77	72	79

4.5.2 SIMULATIE GRASGROEI MET GROEIREDUCTIE

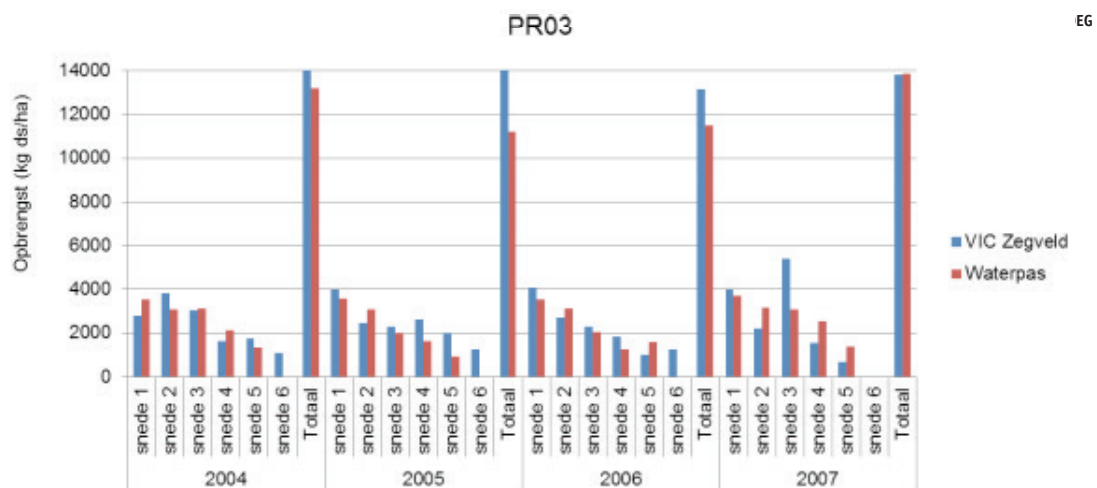
De grasgroei met groeireductie is berekend met Waterpas op basis van de (oude) koppeling tussen SWAP en BBPR op dagbasis. Dit betekent dat de vochtinhoud van de bodem op dag 1 bepalend is voor grasgroei op dag 2 en dat de grasgroei op dag 2 bepalend is voor de vochtinhoud van de bodem op dag 3. Voor beide proefpercelen staan de resultaten voor droge stofopbrengst, N-opbrengst en N-recovery in Tabel 6, zoals die in het veld bepaald zijn (Hoving *et al.*, 2008) en zoals die met Waterpas berekend zijn. Daarbij zijn de uitgangspunten N-mestgift en N-leverend vermogen vermeld, op basis waarvan de N-recovery is berekend.

Voor perceel PR03 waren de berekende jaaropbrengsten lager dan of praktisch gelijk aan de bepaalde opbrengsten. Voor perceel PR13 waren de berekende opbrengsten hoger dan de bepaalde opbrengsten. Voor PR03 varieerde het verschil van ongeveer 35 kg tot 3429 kg droge stof en voor PR13 varieerde het verschil van 378 kg tot 1523 kg droge stof. De lagere opbrengsten op PR03 (2005 en 2006) lijken voor een belangrijk deel verklaard te worden door overschatting van of de droogte, of de transpiratiereductie door droogteschade, of een combinatie hiervan. De hogere opbrengsten op PR13 lijken vooral het gevolg te zijn van zwaardere maaisnedes. Bij grotere snedezwaartes wordt meer geprofiteerd van een hoge grasgroei per dag in het lineaire groeitraject, waardoor de productie hoger is. Dit gaat wel ten koste van de gras kwaliteit en het behoud van de graszode, waardoor in de praktijk zo mogelijk relatief zware sneden vermeden worden.

Opvalt dat de N-recovery in de praktijk meer varieerde dan in de berekeningen. Vooral de N-recovery voor PR03 in 2007 was met 66% relatief laag en was voor PR13 in 2007 met 92% relatief hoog. De N-recovery voor de Waterpasberekeningen varieerde tussen de 72 en de 82%.

Voor perceel PR03 staan de droge stofopbrengsten per snede en per jaar in Figuur 30, zoals die in een veldproef bepaald zijn (VIC Zegveld) en zoals die met Waterpas berekend zijn (Waterpas).

FIGUUR 30: DROGE STOFOPBRENGSTEN GRAS BEPAALD (VIC ZEGVELD) EN BEREKEND (WATERPAS) PER SNEDE EN PER JAAR VOOR PERCEEL PR03,

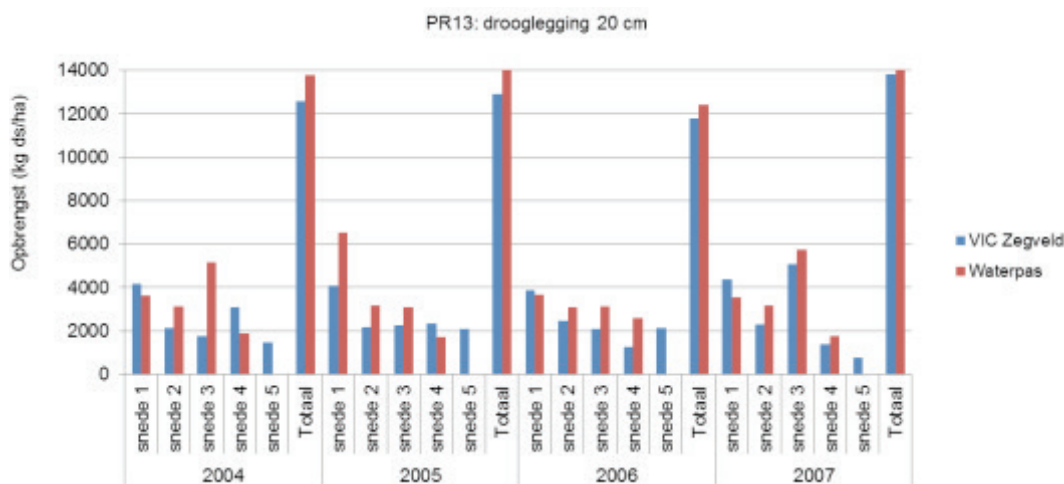


De berekende grasopbrengsten op jaarbasis lijken in 2004 tot met 2006 lager te zijn dan de opbrengsten die in het veld bepaald zijn, mede door onderschatting van de opbrengst op het eind van het groeiseizoen. Er werd een snede minder gemaaid dan in de praktijk. Dit heeft echter ook te maken met de instelling in BBPR bij welke minimum opbrengst in het najaar nog gemaaid wordt. Deze hoeveelheid stond (standaard) op 1000 kg droge stof per ha en dit

kan voor een deel de opbrengstverschillen verklaren. Het opbrengstverschil in 2005 was relatief groot door onderschatting van de opbrengst van snede 4 en 5, waarschijnlijk door een te grote droogte.

Voor perceel PR13 staan de droge stofopbrengsten per snede en per jaar in Figuur 31, zoals die in een veldproef bepaald zijn (VIC Zegveld) en zoals die met Waterpas berekend zijn (Waterpas).

FIGUUR 31 DROGE STOFOPBRENGSTEN GRAS BEPAALD (VIC ZEGVELD) EN BEREKEND (WATERPAS) PER SNEDE EN PER JAAR VOOR PERCEEL PR13, AFHANKELIJK VAN DE BODEMVOCHTSITUATIE. DE STIKSTOFLEVERING WAS 200 KG N PER HA PER JAAR EN DE N-BEMESTINGSGIFT BEDROEG GEMIDDELD 217 KG N PER HA PER JAAR.



Voor PR13 werden de werkelijk gerealiseerde opbrengsten beter benaderd dan voor PR03. De opbrengstniveaus werden in tegenstelling tot PR03 niet onderschat maar overschat. De maximale afwijking bedroeg 1523 kg in 2005. Er trad nauwelijks transpiratiereductie op door droogteschade.

Samengevat kunnen de gevonden afwijkingen in droge stofproductie tussen de bepalingen uit de veldproef en berekeningen met Waterpas door de volgende discussiepunten verklaard worden:

- 1 Simulatie van de bodemvochtsituatie (SWAP) week mogelijk af van de praktijk
- 2 De gekozen Feddes-functie overschat mogelijk in het droge traject de transpiratiereductie
- 3 Vertaling van de berekende droge stofproductie in Leaf Area Index (LAI), zoals die gebruikt wordt in de koppeling tussen BBPR en SWAP, kan een niveauverschil in opbrengsten veroorzaken
- 4 De gebruikte weerdata van De Bilt waren mogelijk voor Zegveld niet locatie specifiek genoeg
- 5 De N-levering door de veenbodem is in de praktijk dynamischer dan de vaste getallen die in de berekeningen zijn gebruikt
- 6 In de berekeningen werden aan het eind van het groeiseizoen snedeopbrengsten van minder dan 1000 kg niet meegenomen.

4.5.3 BEDRIJFSBEREKENING

Waterpas is uiteindelijk bedoeld voor het berekenen van de technische en economische resultaten van een melkveebedrijf in bedrijfsverband. Hierbij is de grasgroei niet alleen afhankelijk van bodem en hydrologie, maar ook van de draagkracht en het gebruik (maaien/weiden).

Bij weiden wordt in een lager opbrengststadium ingeschaard en door betreding treden productieverliezen op. Hierdoor is de netto grasproductie bij weiden lager dan onder maaiomstandigheden en dit heeft invloed op de overige bedrijfsresultaten. Ten opzichte van het volledig op stal houden van melkkoeien, waarbij gras gemaaid en ingekuuld wordt (summer-feeding), zijn in het algemeen de voerkosten hoger (lagere netto grasproductie) en zijn de loonwerkkosten voor uitrijden van mest en het inkuilen van gras lager (Hoving et al, 2013 en Van den Pol et al, 2013).

Op basis van de bodem/hydrologische uitgangspunten van perceel PR03 en PR13 is met Waterpas een bedrijfsberekening uitgevoerd met de volgende uitgangspunten:

- 85 melkkoeien met bijbehorend jongvee
- Oppervlakte (uitsluitend gras) 45 ha
- Melkproductie per koe van 8000 kg
- Weerjaren 2004 – 2007 (overeenkomend met de veldproef, zie paragraaf 4.5.1. en 4.5.2)

De varianten waren als volgt:

- Vast laag peil, drooglegging 55 cm (perceel PR03)
- Vast hoog peil, drooglegging 20 cm (perceel PR13)
- Geen beperkingen; geen directe (groei) en indirecte (graslandgebruik) schade (paragraaf 4.5.1)
- Wel beperkingen; directe en indirecte schade (paragraaf 4.5.2)
- Uitsluitend weiden
- Uitsluitend maaien

Vast laag peil

Voor de relatief drogere situatie staan in tabel 7 de belangrijkste technische resultaten gebaseerd op de bodem/hydrologische uitgangspunten voor perceel PR03.

TABEL 7: TECHNISCHE RESULTATEN BEDRIJFSBEREKENING MET WATERPAS GEBASEERD OP DE BODEM/HYDROLOGISCHE UITGANGSPUNTEN VAN PR03 MET EN ZONDER BEPERKINGEN VOOR GRASGROEI EN GRASLANDGEBRUIK (DIRECTE EN INDIRECTE SCHADE). VOOR DE SITUATIE MET BEPERKINGEN ZIJN DE ACTUELE WEERJAREN 2004-2007 DOORGEREKEND EN DAARBIJ IS DE STANDAARDAFWIJKING WEERGEGEVEN

		Geen beperkingen		Wel beperkingen (2004-2007)		Standaardafwijking (2004-2007)	
		maaien	weiden	maaien	weiden	maaien	weiden
Grasland							
Stikstofjaargift grasland	(kg/ha)	221	218	226	210	3	5
Bruto opbrengst grasland	(kg ds/ha)	15229	15354	12463	12168	1310	902
Netto opbrengst grasland	(kVEM/ha)	11976	11704	10214	9367	880	537
Energie-inhoud graskuil	(VEM/kg ds)	891	891	916	909	18	6
Maaipercantage 1 ^e snede	(%)	100	63	100	58		5
Maaipercantage overige sneden	(%)	496	198	400	113	0	16
Maaipercantage totaal	(%)	596	261	500	171	0	12
Kuilopbrengst	(ton ds)	623	322	518	204	55	14
Zelfvoorzieningsgraad ruwvoer	(%)	108.5	97.1	87	54	12	7
Voeropname melkkoe per jaar							
Weidegras	(kg ds)		2317		2263		159
Ruwvoer	(kg ds)	4944	2830	5235	3313	231	233
Krachtvoer	(kg)	1725	1640	1409	1151	254	123
Aankoop voer							
Ruwvoer totaal	(ton ds)		10.4	86	190	79	40
Graskuil	(ton ds)				8		5
Snijmaïs	(ton ds)		10.4	86	187	79	36
Overige ruwvoerders	(ton ds)						
Krachtvoer totaal	(ton)	160.7	152	131	108	23	11
Verkoop voer							
Verkoop graskuil	(ton ds)	51					

De reductie van de bruto grasopbrengst (kg droge stof) voor de weerjaren 2004-2007 bedroeg voor 'Maaien' 18 en voor 'Weiden' 21 procent. Door gestoorde groei tijdens weiden was de opbrengstreductie 3 procent hoger dan bij maaien. De reductie van de netto grasopbrengst (kVEM) bedroeg voor 'Maaien' en 'Weiden' respectievelijk 15 en 22 procent. Door de lagere bruto productie bij 'Maaien' werd gras in een relatief jonger stadium geoogst waardoor verhoudingsgewijs minder verlies optrad. Daarentegen werd bij weiden door gebruiksbeperkingen bij een later gewasstadium ingeschaard, waardoor de netto productie lager was.

Voor de beoogde nieuwe 'HELP-tabellen' zal de gereduceerde grasgroei uitgedrukt worden in een percentage nat- en droogteschade. Tijdens de uitvoering van de voorliggende studie kon dit onderscheid nog niet gemaakt worden.

Voor wat betreft het economisch bedrijfsresultaat staan in tabel 8 een paar kenmerkende kostenposten die nauw gerelateerd zijn aan ruwvoerproductie en voerbehoefte, namelijk de kosten voor de aankoop van voer, de kosten voor de aankoop van kunstmest en de kosten voor loonwerk (uitrijden mest en ruwvoerwinning). Naarmate bedrijven intensiever zijn, spelen ook de kosten voor mestafzet een belangrijkere rol. De berekende bedrijfssituatie was echter zodanig extensief, dat mestafzet niet aan de orde was en er zodoende ook geen kosten werden berekend.

TABEL 8: ECONOMISCHE RESULTATEN (BELANGRIJKSTE KOSTENPOSTEN) BEDRIJFSBEREKENING MET WATERPAS GEBASEERD OP DE BODEM- / HYDROLOGISCHE UITGANGSPUNTEN VAN PRO3 (DROOGLEGGING 55 CM) MET EN ZONDER BEPERKINGEN VOOR GRASGROEI EN GRASLANDGEBRUIK (DIRECTE EN INDIRECTE SCHADE). VOOR DE SITUATIE MET BEPERKINGEN ZIJN DE ACTUELE WEERJAREN 2004-2007 DOORGEREKEND EN DAARBIJ IS DE STANDAARDAFWIJKING WEERGEGEVEN

		Geen beperkingen		Wel beperkingen (2004-2007)		Standaardafwijking (2004-2007)	
		maaien	weiden	maaien	weiden	maaien	weiden
Bedrijf totaal							
Voer	(€)	36609	36160	44867	56806	6476	4626
Kunstmest (N)	(€)	10898	10923	9280	9671	2153	712
Loonwerk	(€)	41063	20881	36554	15329	11484	634
Totaal	(€)	88570	67964	90700	81806	20113	5973
Per hectare							
Oppervlakte	(ha)	45	45	45	45	45	45
Voer	(€ / ha)	814	804	997	1262	144	103
Kunstmest (N)	(€ / ha)	242	243	206	215	48	16
Loonwerk	(€ / ha)	913	464	812	341	255	14
Totaal	(€ / ha)	1968	1510	2016	1818	447	133

Opvalt dat de totale kosten bij onbeperkt weiden aanmerkelijk lager waren dan bij volledig maaien. De kosten voor de aankoop van voer waren bij 'Weiden' weliswaar hoger, echter de kosten voor loonwerk waren relatief lager, waardoor de totale kosten ook lager waren. Een dergelijk resultaat kwam ook duidelijk naar voren in Van den Pol et al. (2013). Daarbij varieerden de kosten tussen de jaren minder (lagere standaardafwijking), waardoor het financiële bedrijfsrisico ook lager was. Gezien het economisch voordeel van weiden ten opzichte van maaien, blijken beperkingen van het graslandgebruik volgens Hoving et al. (2013) voor bedrijven die weiden nadeliger uit te pakken dan voor bedrijven die uitsluitend maaien.

Vast hoog peil

In tabel 9 staan de belangrijkste technische resultaten gebaseerd op de bodem/hydrologische uitgangspunten voor perceel PR13.

TABEL 9: TECHNISCHE RESULTATEN BEDRIJFSBEREKENING MET WATERPAS GEBASEERD OP DE BODEM/HYDROLOGISCHE UITGANGSPUNTEN VAN PR13 MET EN ZONDER BEPERKINGEN VOOR GRASGROEI EN GRASLANDGEBRUIK (DIRECTE EN INDIRECTE SCHADE). VOOR DE SITUATIE MET BEPERKINGEN ZIJN DE ACTUELE WEERJAREN 2004-2007 DOORGEREKEND EN DAARBIJ IS DE STANDAARDAFWIJKING WEERGEGEVEN

		Geen beperkingen		Wel beperkingen (2004-2007)		Standaardafwijking (2004-2007)	
		maaien	weiden	maaien	weiden	maaien	weiden
Bedrijf totaal							
Voer	(€)	36609	36160	44867	56806	6476	4626
Kunstmest (N)	(€)	10898	10923	9280	9671	2153	712
Loonwerk	(€)	41063	20881	36554	15329	11484	634
Totaal	(€)	88570	67964	90700	81806	20113	5973
Per hectare							
Oppervlakte	(ha)	45	45	45	45	45	45
Voer	(€ / ha)	814	804	997	1262	144	103
Kunstmest (N)	(€ / ha)	242	243	206	215	48	16
Loonwerk	(€ / ha)	913	464	812	341	255	14
Totaal	(€ / ha)	1968	1510	2016	1818	447	133

Onder maaiomstandigheden trad door de goede vochtvoorziening geen reductie van de groei op ten opzichte van de berekende potentiële groei. De bruto grasproductie was gemiddeld zelfs iets hoger door zwaardere maaisneden. Gemiddeld werd namelijk een snede minder geoogst. Door de zwaardere sneden was de energie-inhoud van de graskuil lager. De aankoop van de hoeveelheid krachtvoer was zodoende groter om de lagere energie-inhoud te compenseren.

Voor weiden bedroeg de reductie van de bruto grasopbrengst (kg droge stof) 5.8 procent en bedroeg de reductie van de netto grasopbrengst (kVEM) 20 procent. Door gebruikbeperkingen werd bij een later gewasstadium ingeschaard, waardoor de netto productie relatief aantrekkelijk lager was.

In tabel 10 staan de kosten voor de aankoop van voer, de kosten voor de aankoop van kunstmest en de kosten voor loonwerk (uitrijden mest en ruwvoerwinning).

TABEL 10: ECONOMISCHE RESULTATEN (BELANGRIJKSTE KOSTENPOSTEN) BEDRIJFSBEREKENING MET WATERPAS GEBASEERD OP DE BODEM/HYDROLOGISCHE UITGANGSPUNTEN VAN PR13 (DROOGLEGGING 20 CM) MET EN ZONDER BEPERKINGEN VOOR GRASGROEI EN GRASLANDGEBRUIK (DIRECTE EN INDIRECTE SCHADE). VOOR DE SITUATIE MET BEPERKINGEN ZIJN DE ACTUELE WEERJAREN 2004-2007 DOORGEREKEND EN DAARBIJ IS DE STANDAARDAFWIJKING WEERGEGEVEN

		Geen beperkingen		Wel beperkingen (2004-2007)		Standaardafwijking (2004-2007)	
		maaien	weiden	maaien	weiden	maaien	weiden
Bedrijf totaal							
Voer	()	40428	53183	45093	61137	2748	2890
Kunstmest (N)	()	7537	9134	5912	8200	498	1024
Loonwerk	()	38910	18122	32265	15221	9168	1128
Totaal	()	83205	84215	83270	84557	2862	3224
Per hectare							
Oppervlakte	(ha)	45	45	45	45	45	45
Voer	(/ha)	898	1182	1002	1359	61	64
Kunstmest (N)	(/ha)	167	203	131	182	11	23
Loonwerk	(/ha)	865	403	717	338	204	25
Totaal	(/ha)	1849	1871	1850	1879	64	72

In tegenstelling tot een vast laag peil waren bij een vast hoog peil de totale kosten bij weiden (beperkt) hoger dan bij maaien. Ten opzichte van een vast laag peil was bij maaien de grasproductie relatief hoog en het maaipercentage relatief laag. Daardoor waren de kosten voor loonwerk, voer, kunstmest en dientengevolge de totale kosten lager dan bij een vast laag peil. Daarentegen waren voor weiden de voerkosten hoger dan bij een vast laag peil, door een lagere netto grasproductie als gevolg van extra vertrapingsverlies. De totale kosten waren zodoende ook hoger. Door de relatief lagere kosten bij maaien en de relatief hogere kosten bij weiden werd bij een vast hoog peil voor weiden geen economisch voordeel gehaald ten opzichte van maaien.

4.5.4 CONCLUSIES WATERPAS

Berekeningen met Waterpas (met grasgroei-model GRAS2007) zonder groeireductie geven een realistische schatting van de potentiële grasproductie op veengrond. Gesimuleerde grasproducties met groeireductie lieten voor een relatief droog perceel een evenaring of onderschatting zien van gerealiseerde producties en lieten voor een relatief nat perceel een evenaring of overschatting zien van gerealiseerde producties. Daarbij waren de afwijkingen voor het relatief droge perceel groter dan die van het relatief natte perceel. Voor het relatief droge perceel werden de grootste afwijkingen gevonden voor sneden die groeiden tijdens langdurige (berekende) droogte. Daarbij werd de opbrengst op het eind van het groeiseizoen onderschat. Voor de afwijkingen worden een aantal mogelijke verklaringen gegeven, die nader bekeken moeten worden, maar waar deze studie verder geen ruimte voor bood. Ondanks deze afwijkingen hebben de Waterpasberekeningen voldoende realiteitswaarde voor het simuleren van grasopbrengsten in de praktijk.

Het aandeel weiden heeft een aanzienlijke invloed op het economisch bedrijfsresultaat van een melkveebedrijf, waardoor financiële schades in perspectief gezien moeten worden van de bedrijfssituatie. In het algemeen zijn beperkingen van het graslandgebruik voor bedrijven die weiden nadeliger dan voor bedrijven die uitsluitend maaien.

5

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De doelstelling van deze studie was een aanvullende toetsing van de plausibiliteit van de in fase 1 verbeterde SWAP-versie. We kunnen nu concluderen dat de resultaten van de modelberekeningen, zoals gepresenteerd in de vorige hoofdstukken, zeker de plausibiliteit van het modelinstrumentarium aantonen. Onderlinge vergelijking van de natschadefuncties van Feddes en Bartholomeus en van het rekenen met een statisch gewas versus een dynamisch gewas met WOFOST laat zien dat geen van de berekeningen erg afwijkende resultaten oplevert. De waarden voor RMSE voor de berekende gewasverdamping is in alle gevallen zeer acceptabel. In de meeste gevallen is deze het laagst als gerekend wordt met de zuurstofstressmodule voor natschade. In enkele gevallen is de RMSE het laagst als met WOFOST wordt gerekend. Het grote voordeel van toepassing van de natschademodule volgens Bartholomeus en toepassing van WOFOST is dat daarmee ook klimaatscenario's kunnen worden doorgerekend, omdat de modules gebaseerd zijn op proceskennis en niet (alleen) op experimentele kennis uit het verleden.

Zodoende trekken we de conclusie dat het toevoegen van een deterministische, fysische, berekeningswijze voor natschade in SWAP een conceptuele en realistische verbetering is.

Bij de vergelijking van berekende met gemeten verdamping hebben we geprobeerd de onzekerheid van de metingen aan te geven. De verschillende meetmethoden hebben verschillende onzekerheden die een vergelijking tussen gemeten en berekende actuele verdamping geen sinecure is en het lastig is om binnen het korte tijdsbestek van deze aanvullende toets te concluderen of de simulaties van actuele verdamping echt op het juiste niveau uitkomen. Elke meetmethode kent bovendien een minimale onzekerheid van $\pm 10\%$.

De toets in deze studie heeft betrekking op enkele veldexperimenten. Deze zijn onmisbaar om te testen of de processen in het model op de juiste manier zijn beschreven. Ook als we verder kunnen met het vervolg van het project zal toetsing aan veldexperimenten nodig zijn. Ook zijn experimenten op veldschaal met metingen van de hydrologische situatie en gewasgroei nodig voor parametrisatie van de modellen. Daarnaast zijn kolomproeven nodig om deelprocessen (vb zuurstofstressmodule) te toetsen en te ijken. Zodra er sprake is van regionale of nationale toepassingen komen andere vormen van toetsing aan de orde. Remote sensing beelden zijn bij uitstek geschikt om na te gaan in hoeverre de modellen in staat zijn om de juiste variatie in ruimte en tijd te simuleren.

Voor zoutschade hebben we in SWAP gebruik gemaakt van de bestaande kennis. Er is echter nieuwe informatie beschikbaar uit de praktijk die verwerkt zou moeten worden. Zouttolerantie van gewassen blijkt veelal anders te zijn dan tot nu toe gedacht.

Voor het vervolg van het project 'actualisatie schadefuncties landbouw' achten wij het belangrijk om van berekening van het effect op gewasverdamping een stap te kunnen maken naar

het effect op gewasopbrengst en ten slotte naar een actuele opbrengst in de landbouwpraktijk. Voor het landbouwbedrijfsleven spelen indirecte effecten zoals verkort groeiseizoen door beperkte bewerkbaarheid of verminderde gewaskwaliteit of blijvend structuurbederf een grote rol en die effecten komen tot uiting in het bedrijfsinkomen. Het is dus noodzakelijk om deze aspecten mee te nemen in de methodiek. Dit vraagt om de door ons voorgestelde koppeling met WOFOST, parametrisatie voor meerdere gewassen en het toevoegen van de kwantificering van indirecte effecten, mede door bedrijfsvoering toe te voegen aan het instrumentarium.

6

LITERATUUR

Akkermans, W., Boogaard, H., Wit, A. De, en R. Hessel, 2008. *CALPLAT : platform for calibrating CGMS; ASEMARS report 5.2.1.*

Boogaard, H. L., Wit, A. J. W. De, Roller, J. A. te, en C.A. van Diepen, 2011. *User's guide for the WOFOST Control Center 1.8 and WOFOST 7.1.3 crop growth simulation model.* Wageningen. Retrieved from <http://www.wofost.wur.nl>

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

Bartholomeus, Ruud, Joop Kroes, Jan van Bakel, Mirjam Hack-ten Broeke, Dennis Walvoort en Flip Witte, 2013. Actualisatie schadefuncties landbouw; fase 1. Op weg naar een geactualiseerd en klimaatbestendig systeem van effect van waterbeheer op gewasopbrengst. Overzicht van doorgevoerde verbeteringen in fase 1 (september 2012 – april 2013). STOWA-rapport 2013-22.

Beljaars, A.C.M. en F.C. Bosveld, 1997. Cabauw data for the validation of land surface parameterization schemes. *J. Climate*, 1997, 10, 1172-1193.

De Vos, J.A., P.J.T. van Bakel, I.E. Hoving, en J.G. Conijn, 2006. Waterpas-model: a predictive tool for water management, agriculture, and environment. *Agric. Water Manage.* 86, pp 187–195.

De Vos, J.A., P.J.T. van Bakel en I.E. Hoving, 2008. Waterpas nat- en droogteschadeberekeningen ten behoeve van landbouwkundige doelrealisatie. Wageningen, Alterra. Rapport 1653.

Feddes, R.A. en P.A.C. Raats, 2004. Parameterizing the soil–water–plant root system. In: Feddes, R.A., De Rooij, G.H., Van Dam, J.C. (Eds.), *Unsaturated-zone Modeling: Progress, Challenges, Applications.* Wageningen UR Frontis Series, pp. 95-141.

Feddes, R.A., P.J. Kowalik en H. Zaradny, 1978. Simulation of field water use and crop yield. *Simulation Monographs.* Pudoc, Wageningen, 189 pp.

Hendriks, R. F. A., en J.J.H. van den Akker, 2012. Effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in veenweiden. Alterra rapport 2354.

Hoving, I.E., J. de Boer en J. Kanis, 2013. Schadeberekening inundatie op melkveebedrijven. Lelystad, Livestock Research van Wageningen UR. Rapport 700

Hsiao, T. C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-lara, B., Raes, D., en E. Fereres, 2009. AquaCrop - The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Maize. *Agronomy Journal*, 101(3).

Huinink, J., 1987. Waterkwaliteit en landbouwproductie. Nota CAD voor Bodem-, Water- en Bemestings- zaken in de Akkerbouw en Tuinbouw 1987. Wageningen.

Jarvis, N.J. 1989. A simple empirical model of root water uptake. *J. Hydrol.* 107:57-72.

Kroes, J.G., J.C. van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en C.M.J. Jacobs, 2009. SWAP version 3.2, Theory description and user manual. Wageningen, Alterra. Report 1649 (update 02).

Kroes, J. G. en I. Supit, 2011. Impact analysis of drought, water excess and salinity on grass production in The Netherlands using historical and future climate data. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 370-381.

Leistra, M. en J.J.T.I. Boesten, 2008. *Movement of bromide-ion and carbofuran in the humic sandy soil of a potato field with ridges and furrows; Alterra rapport 1750*. Wageningen.

Leistra, M. en J.J.T.I. Boesten, 2010a. Measurement and computation of movement of bromide ions and carbofuran in ridged humic-sandy soil. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 59(1), 39-48.

Leistra, M. en J.J.T.I. Boesten, 2010b. Pesticide Leaching from Agricultural Fields with Ridges and Furrows. *Water, air, and soil pollution*, 213(1-4), 341-352.

Maas, E.V., 1990. Crop salt tolerance. In: Tanji, K. (Ed.), *Agricultural Salinity Assessment and Management*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No 71. American Society of Civil Engineers.

Maas, E.V. en G.J. Hoffman, 1977. Crop salt tolerance - current assessment. *J. Irrigation and Drainage Division ASCE* 103 (IRI): 115-134. Proceeding Paper 12993.

Van den Pol - van Dasselaar, A., A.P. Philipsen en M.H.A. de Haan, 2013. Economisch weiden. *Livestock Research van Wageningen UR, Lelystad. Rapport 679*.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C. en E. Fereres, 2009. AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. *Agronomy Journal*, 101(3), 438-447.

Schils, R. L. M., M. H. A. de Haan, J. G. A. Hemmer, A. van den Pol-van Dasselaar, J. A. de Boer, A. G. Evers, G. Holshof, J. C. van Middelkoop en R. L. G. Zom, 2007. DairyWise, A Whole-Farm Dairy Model. *Journal of Dairy Science* 90, 5334-5346.

Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D. en E. Fereres, 2009. AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal*, 101(3), 426-437.

Supit, I., Hooijer, A.A. en C.A. van Diepen (Eds.), 1994. System Description of the WOFOST 6.0 Crop Simulation Model Implemented in CGMS, vol. 1: Theory and Algorithms, EUR 15956. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 146 pp. (catno: CL-NA-15956-EN-C).

Van Bakel, P.J.T., Hoving, I. E., Wesseling, J., Oostindie, K. en J. J. H. van den Akker, 2009. Effecten flexibel peilbeheer Vlietpolder op hydrologie en melkveehouderij; Berekeningen met Waterpas voor tien weerjaren. Alterra rapport 1974. Wageningen.

Van Bakel, P.J.T., Kselik, R.A.L., Roest, C.W.J. en A.A.M.F.R. Smit, 2010. Review of crop salt tolerance in the Netherlands. Wageningen, Alterra-rapport 1926.

Van Bakel, P.J.T. en L.C.P.M. Stuyt, 2011. Actualisering van de kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen. Op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaringen. Wageningen, Alterra-rapport 2201.

Van der Salm, C., Chardon, W. J., Koopmans, G. F., Van Middelkoop, J. C., en P. Ehlert, 2009. Phytoextraction of phosphorus-enriched grassland soils. *Journal of environmental quality*, 38(2), 751-61. doi:10.2134/jeq2008.0068

Van Diepen, C.A., Wolf, J en H. van Keulen, 1989. WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil Use and Management* 5, 16-24

Van Wijk, A.L.M., 1984. Physical soil degradation : analysis, modeling and effects of soil compaction due to field traffic in modern agriculture. Nota 1524, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Van Heemst, H. (1988). *Plant data values required for simple crop growth simulation models: review and bibliography*.

Werkgroep Normen voor de Voederveorziening, 1991. Normen voor de Voederveorziening. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Lelystad. Publicatie nr. 71.

Walsum, P.E.V. van en P. Groenendijk, 2008. Quasi Steady-State Simulation of the Unsaturated Zone in Groundwater Modeling of Lowland Regions. *Vadose Zone Journal*, 7(2): 769-781.

BIJLAGE

COMPENSATED ROOT WATER UPTAKE ACCORDING TO JARVIS (1989)

Joop Kroes, Jos van Dam

INTRO

Van de Berg and Driessen (2002) give a review of several approaches to simulate non-uniform root water uptake using a compensation mechanism. Some approaches use soil water potential (Hoogland et al, 1981), others use soil moisture content (Van Keulen and Seligman, 1987; Jarvis, 1989; Tiktak et al, 1992; Šimunek and Hopmans, 2009) as indicator for the need to compensate. De Jong van Lier et al. (2008) introduced compensatory root water uptake based on an analysis of radial water flow to roots; this approach is implemented and is being tested in SWAP3.2.26 (Kroes et al, 2009). Stability problems and the lack of validated input data currently prevents application of their method at a larger scale.

Jarvis (2010) compared his older empirical approach (Jarvis, 1989) with the recent physics-based approach from De Jong van Lier et al. (2008). His conclusion was that the empirics of his old equation can be related to physics, which was confirmed by De Jong van Lier et al (2010).

Following Jarvis (1989) and Šimunek and Hopmans (2009), a simplified one-parameter compensation approach was implemented in SWAP3.2.33.

$$\alpha_t = \frac{T_a}{T_p}$$

IMPLEMENTATION

The overall stress factor α_t (-) is defined as:

Where T_a and T_p are the actual and potential root water uptake before compensation (cm d^{-1}).

Following Jarvis (1989) and Šimunek and Hopmans (2009) a so-called critical stress index α_c (-) is introduced as input to the model. It represents a threshold value, above which root water uptake in stressed parts of the root zone is fully compensated by uptake from other less stressed parts (fig A1, Šimunek and Hopmans, 2009). Below this threshold value the stress is reduced as depicted in the figure A1. This implies that water will be extracted at depths with more favorable root density and soil moisture conditions.

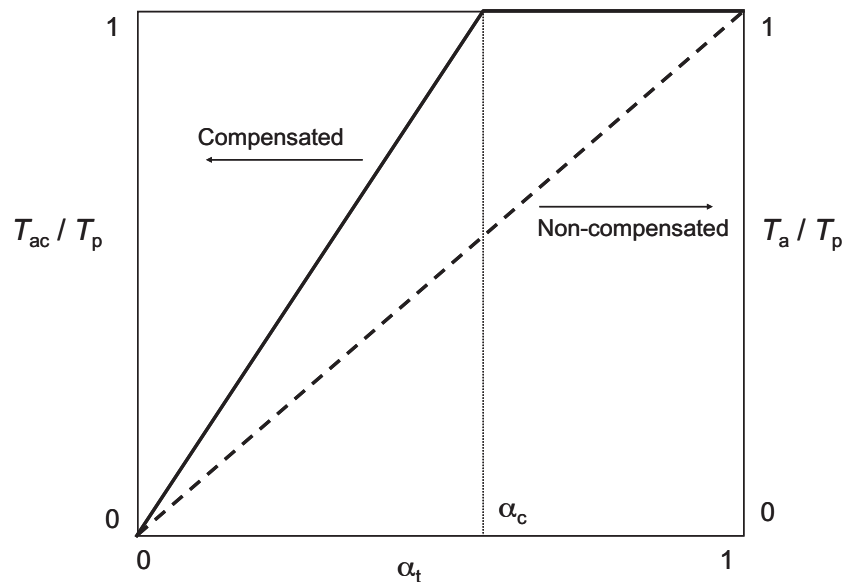
In summary, there can be 3 situations for overall stress conditions:

- 1 $\alpha_t = 1$, no stress: nothing happens, no compensation
- 2 $\alpha_c < \alpha_t < 1$, stress larger than critical level. Compensation according to: $\alpha_i = \frac{\alpha_t}{\alpha_c}$
- 3 $\alpha_t \leq \alpha_c$, stress less than critical level. Compensation according to: $\alpha_i = \frac{\alpha_t}{\alpha_c}$

When compensation occurs, then all compartments (i) of the root zone are compensated according to the decision rules given above.

Additional tests required for special cases of compensated uptake (whole root zone equally stressed, what then, see also Simunek and Hopmans (2009).

FIGURE A1: RATIO OF THE ACTUAL TO POTENTIAL TRANSPIRATION AS A FUNCTION OF THE TOTAL STRESS INDEX Δ_T (ARROWS POINT TOWARDS THE CORRESPONDING AXIS; THE LEFT AXIS IS FOR COMPENSATED UPTAKE, WHILE THE RIGHT AXIS IS FOR UNCOMPENSATED UPTAKE).



USER INSTRUCTION

Compensated root water uptake according to Jarvis (1989) requires only 1 input parameter:

alphacrit , a real value with the following range limits: $0.2 > \text{alphacrit} < 1.0$

The parameter “alphacrit” must be placed in the crp-file.

By default a value of 1.0 is assumed and alphacrit is read as ‘hidden’ input using RDINQR. This implies that compensated root water uptake becomes only active when the parameter is present and has a value < 1.0 .

REFERENTIES

De Jong van Lier, Q., J.C. van Dam, K. Metselaar, R. de Jong, and W.H.M. Duiniveld. 2008. Macroscopic root water uptake distribution using a matric flux potential approach. *Vadose Zone J.* 7:1065–1078

Jarvis, N.J. 1989. A simple empirical model of root water uptake. *J. Hydrol.* 107:57–72.

Jarvis, N. 2010. “Comment on “Macroscopic Root Water Uptake Distribution Using a Matric Flux Potential Approach”” *Vadose Zone Journal* 9:499-502.

Šimunek, J. and J.W. Hopmans. 2009. “Modeling compensated root water and nutrient uptake.” *Ecological Modelling* 220:505-521.

Tiktak, A., and W. Bouten, 1992: Modelling soil water dynamics in a forested ecosystem III: Model description and evaluation of discretization. *Hydrol. Process.*, 6, 455–465.

Van den Berg, M. , P.M. Driessen, 2002, Water uptake in crop growth models for land use systems analysis. I. A review of approaches and their pedigrees. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 92 (2002) 21-36

Van Keulen, H., Seligman, N.G., 1987. Simulation of water use, nitrogen nutrition and growth of a spring wheat crop. Pudoc, Wageningen, Simulation Monographs, 310 p.