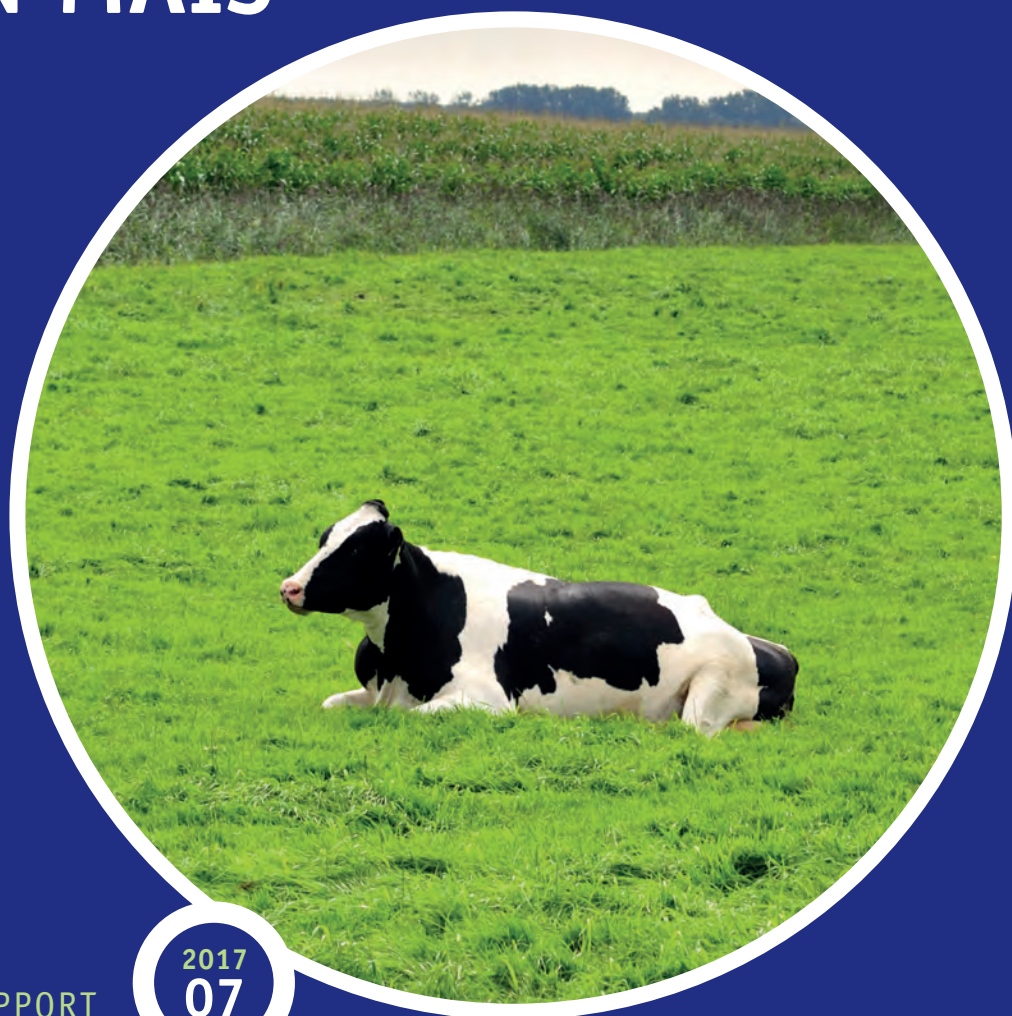


WATERWIJZER LANDBOUW FASE 3:
**NAAR EEN OPERATIONEEL
SYSTEEM VOOR GRAS
EN MAÏS**



RAPPORT

2017
07

WATERWIJZER LANDBOUW FASE 3:
NAAR EEN OPERATIONEEL SYSTEEM VOOR GRAS EN MAÏS

RAPPORT

2017

07

ISBN 978.90.5773.749.7



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS

Martin Knotters (redactie, Wageningen Environmental Research (Alterra))
Jan van Bakel (De Bakelse Stroom)
Ruud Bartholomeus (KWR Watercycle Research Institute)
Mirjam Hack-ten Broeke (Wageningen Environmental Research (Alterra))
Rob Hendriks (Wageningen Environmental Research (Alterra))
Gertjan Holshof (Wageningen Livestock Research)
Idse Hoving (Wageningen Livestock Research)
Joop Kroes (Wageningen Environmental Research (Alterra))
Martin Mulder (Wageningen Environmental Research (Alterra))
Dennis Walvoort (Wageningen Environmental Research (Alterra))

BEGELEIDING

Jan Jaap Buyse (Vitens)
Jeroen Castelijns (Brabant Water)
Johan Elshof/Wubbo de Raad (LTO)
Myrjam de Graaf (Waterschap Limburg)
Chris Griffioen (vz, Waterschap Drents Overijsselse Delta)
Han Grobbe (ACSG)
Jan Huinink (Ministerie van EZ)
Saske Klerks (ACSG)
Hans Mankor (Provincie Utrecht)
Rob Ruijtenberg (Bureau WeL namens STOWA)
Jan Strijker (Provincie Zuid-Holland)
Michelle Talsma (STOWA)
Wim Werkman (Rijkswaterstaat),
Bas Worm (Zoetwatervoorziening Oost Nederland (ZON)/Waterschap Vechtstromen)

ONDERZOEK MEDE MOGELIJK GEMAAKT DOOR

Rijkswaterstaat, provincie Utrecht, provincie Zuid-Holland, AdviesCommissie Schade Grondwater (ACSG), VEWIN, Zoetwatervoorziening Oost Nederland (ZON), Wageningen Environmental Research (Alterra)/Ministerie van EZ, De Bakelse Stroom en STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2017-07
ISBN 978.90.5773.749.7

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

Voor het bepalen van de effecten van de ingrepen in de waterhuishouding op landbouw-opbrengsten zijn in Nederland al geruime tijd drie methodes in gebruik: de HELP-tabellen, de TCGB-tabellen en AGRICOM. In bijna elke berekening van die effecten wordt gebruik gemaakt van een van deze methodes.

De landbouw, waterbeheerders en waterleidingbedrijven dringen al langere tijd aan op een herziening van deze methodes, onder meer omdat ze gebaseerd zijn op verouderde meteorologische gegevens en ze niet klimaatrobust zijn. Bovendien wordt in de huidige methoden zout niet meegenomen. Met een droger klimaat gaat zout en het sturen met water op het zoutgehalte, een steeds belangrijkere rol spelen in het waterbeheer.

Dit vormde in 2012 de aanleiding voor het project Waterwijzer Landbouw. Hierin ontwikkelen een groot aantal partijen een uniform, breed gedragen en praktische methode voor het bepalen van klimaatbestendige relaties tussen waterhuishoudkundige condities, de veranderingen daarin en gewasopbrengsten. Op deze wijze krijgen waterbeheerders, maar ook agrariërs, een veel nauwkeurigere inschatting van het effect van waterhuishoudkundige maatregelen op landbouwkundige opbrengsten, in termen van droogteschade, natschade en zoutschade.

De Waterwijzer Landbouw wordt in een aantal fasen gerealiseerd. In eerdere fasen is het bestaande modelinstrumentarium verbeterd, uitgebreid en zijn modelinstrumenten (SWAP-WOFOST) gekoppeld tot een operationeel en getoetst simulatiemodel voor gras, mais en aardappelen en getoetst op plausibiliteit. Met het instrumentarium kunnen voor deze gewassen nu direct opbrengstreducties berekend worden als gevolg van vernatting, droogte en zout. Van alle fasen is verslag gelegd in diverse deelrapporten*.

In fase 3, vastgelegd in dit rapport, is een volgende koppeling gerealiseerd – tussen SWAP-WOFOST met BBPR (BedrijfsBegrotingsProgramma Rundvee) - om ook de indirecte schade als gevolg van de bedrijfsvoering mee te kunnen nemen bij de schadeberekeningen. Hiermee is het mogelijk om directe en indirecte schade voor droogte, nat en zout apart te berekenen. Een uitgebreide rapportage over de indirecte effecten is weergegeven in het werkdocument 'Kennis over indirecte nat- en droogteschade bij gras en maïs voor Waterwijzer Landbouw'. De volgende reeds ingezette stap is het beschikbaar maken van het instrument voor de akkerbouw en bollenteelt. Begin 2018 zal dan het nieuwe en klimaatbestendige instrument gereed zijn waarmee de gevolgen van waterhuishoudkundige maatregelen voor de akkerbouw en veehouderij kunnen worden bepaald en daarmee en dat daarmee onmisbaar is voor het doorrekenen van peilbesluiten en inrichtingsplannen. Dit instrument zal beschikbaar zijn zowel in een uitgebreide als een vereenvoudigde versie.

Amersfoort, mei 2017
 Directeur STOWA
 Ir. J.J. Buntsma

* STOWA 2013-22 – Actualisatie schadefuncties landbouw; Fase 1

* STOWA 2013-37 – Actualisatie schadefuncties voor de landbouw; Tussenfase 2a: Plausibiliteitstoets SWAP en enkele verkennende berekeningen

* STOWA 2015 -16 – Waterwijzer Landbouw fase 2. Modelleren van het bodem-water-plantsysteem met het gekoppelde instrumentarium SWAP-WOFOST

* STOWA 2017-W01 – Kennis over indirecte nat- en droogteschade bij gras en maïs voor Waterwijzer Landbouw.

WOORD VOORAF

De verschillende hoofdstukken zijn door verschillende leden van de projectgroep Waterwijzer Landbouw geschreven. De verschillende schrijfstijlen van de auteurs zijn herkenbaar, maar voor een technisch rapport als dit hebben we geoordeeld dat enige *couleur locale* niet bezwaarlijk is en zelfs bevorderlijk kan zijn voor de leesbaarheid. De eindredactie was in handen van Martin Knotters, zich daarbij gesteund wetend door projectleider Mirjam Hack-ten Broeke, die ook de inleiding verzorgde.

Een eerdere conceptversie van dit rapport is door de begeleidingscommissie van Waterwijzer Landbouw besproken en het commentaar is verwerkt in deze versie.

SAMENVATTING

INLEIDING

De HELP-tabellen voor het berekenen van opbrengstdepressies in de landbouw in relatie tot waterhuishouding zijn gebaseerd op verouderde gegevens, de huidige landbouwpraktijk is er niet in verwerkt, ze zijn niet reproduceerbaar en bijvoorbeeld niet te gebruiken voor het doorrekenen van klimaatscenario's.

In het project Waterwijzer Landbouw ontwikkelt een consortium onder auspiciën van STOWA een uniforme, breed gedragen en praktische methode voor het bepalen van klimaatbestendige relaties tussen waterhuishoudkundige condities (en veranderingen daarin) en gewasopbrengsten, ter vervanging van de huidige methoden. Hiermee krijgen waterbeheerders en agrariërs een reproduceerbare inschatting van het effect van waterhuishoudkundige maatregelen op landbouwkundige opbrengsten, in termen van droogte-, nat- en zoutschade.

Fase 1 van het project, 'actualisatie schadefuncties landbouw' (september 2012 – april 2013), resulteerde in een operationele SWAP-versie waarmee directe effecten van droogte, zuurstoftekort en zout in de wortelzone kunnen worden berekend in de vorm van reductie van gewasverdamping. Tevens is een eerste aanzet gegeven voor metamodellen waarmee per bodemtype de schade kan worden afgelezen als functie van een grondwaterkarakteristiek of zoutgehalte. Na een plausibiliteitstoets van het opgeleverde SWAP (fase 2a), zijn keuzes zijn gemaakt voor fase 2, waarin een koppeling werd gerealiseerd met het gewasgroeimodel WOFOST. Dit resulteerde in een instrument dat niet alleen verdampingsreductie, maar ook gewasopbrengstreductie berekent. In eerste instantie is dit uitgewerkt voor gras, aardappel en maïs. Fase 3, waarvan dit rapport verslag doet, heeft als doelen:

- 1 Actualiseren van de kennis over indirecte schade bij gras en maïs, inclusief structuurbederf en gewaskwaliteit, en deze kennis geschikt maken voor opname in de schadeberekening als onderdeel van het modelinstrumentarium.
- 2 Realiseren van de koppeling van SWAP-WOFOST met BBPR (BedrijfsBegrotingsProgramma Rundvee om indirecte schade en bedrijfsvoering mee te kunnen nemen bij de schadeberekeningen.
- 3 Toetsing van SWAP-WOFOST-BBPR aan de hand van een beperkt aantal bedrijfstypen. Dit resulteert in een plausibiliteitstoets en enkele voorbeeldberekeningen.
- 4 Afleiden van een complete set metamodellen voor alle bodemtypen van de bodemfysische eenhedenkaart, voor meerdere klimaatscenario's en voor de gewassen gras en maïs.
- 5 Waterwijzer Landbouw toepasbaar maken voor het berekenen van de effecten van onderwaterdrainage op de reductie van gewasproductie door nat- en droogteschade voor de specifieke omstandigheden van de veenweiden in Utrecht en Zuid-Holland (op verzoek van de provincie Utrecht).

KENNIS OVER INDIRECTE NAT- EN DROOGTESCHADE BIJ GRAS EN MAÏS VOOR WATERWIJZER LANDBOUW

Directe schade is de schade die direct gerelateerd kan worden aan het verschil tussen actuele en potentiële gewasverdamping en wordt in Waterwijzer Landbouw berekend met het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST. Kennis over indirecte schade is momenteel echter niet

operationeel voor inbouw. Deze studie heeft als doel de kennis over indirecte schade bij gras en maïs te actualiseren en geschikt te maken voor opname in de schadeberekening.

Vormen van indirecte droogteschade zijn onder meer achteruitgang in botanische samenstelling van de graszode door droogtestress, (gedeeltelijk) afsterven van de zode na langdurige (extreme) droogtestress, remming van de kieming na (her)inzaai van grasland of een ander gewas, niet of minder aanslaan van kiemplanten, indrogen van kleigrond waardoor een groot deel van het neerslagwater de wortelzone passeert via krimpscheuren, achteruitgang van de afrijping of kwaliteit van het oogstbaar product, (vervroegd) afsterven van het gewas.

Vormen van indirecte natschade zijn onder meer verminderde bewerkbaarheid, berijdbaarheid en betreedbaarheid door verminderde draagkracht, vertrappingsverliezen, berijdingsverliezen, structuurbederf van de bodem, vertraagde gewasgroei doordat natte grond in het voorjaar minder snel opwarmt, verminderde stikstofmineralisatie, schade door inundatie, schade door ziekten en plagen die beter gedijen onder natte omstandigheden, verschuiving in de botanische samenstelling van de grasmat doordat sommige grassoorten minder concurrerend zijn onder natte omstandigheden en andere juist meer.

Een aantal indirecte effecten is niet in Waterwijzer Landbouw opgenomen, omdat er onvoldoende toepasbare kennis beschikbaar is, of omdat er al eerder voor gekozen is om bepaalde aspecten niet mee te nemen. De indirecte effecten die we wel kwantificeren in Waterwijzer Landbouw worden voor grasland meegenomen in de koppeling met BBPR.

KOPPELING VAN SWAP-WOFOST MET BBPR

Voor Waterwijzer Landbouw is de grasgroeimodule die deel uitmaakt van BedrijfsBegrotings-Programma Rundveehouderij (BBPR) vervangen door WOFOST. De dynamische gewasgroei-modellering van WOFOST maakt het mogelijk om ook klimaatscenario's door te rekenen, maar extrapolatie naar de toekomst is niet zomaar geoorloofd met de rekenregels van de BBPR-grasgroeimodule die op experimenten zijn gebaseerd. De koppeling met BBPR betekent voor Waterwijzer Landbouw de mogelijkheid om landbouwkundige bedrijfsvoering voor de melkveehouderij mee te nemen en daarmee de bijbehorende indirecte effecten en de effecten op bedrijfseconomie.

De opbrengstderving die bij koppeling tussen de modellen SWAP en WOFOST wordt berekend is uitgedrukt als het verschil tussen exploitierbare en actuele opbrengst. Exploiteerbare opbrengst is de potentiële opbrengst verminderd met onvermijdelijke verliezen. Het verschil tussen de exploitierbare en de actuele opbrengst is de directe opbrengstderving, die is onderverdeeld in directe droogteschade, directe natschade en directe zoutschade. De koppeling met BBPR maakt het mogelijk om de indirecte effecten voor grasland te kwantificeren. Omdat in Nederland geen sprake kan zijn van optimale N-giften is er voor gekozen om in BBPR te rekenen met een relatief hoge maar wel realistische N-gift en deze te gebruiken om een reductiefactor voor de gewasopbrengst te bepalen. Ten behoeve van de koppeling SWAP-WOFOST met BBPR is een begrazingsmodule in SWAP-WOFOST gerealiseerd.

De modelkoppeling SWAP-WOFOST-BBPR is getoetst aan de hand van grasopbrengsten op de melkveeproefbedrijven KTC Zegveld, De Waiboerhoeve en De Marke, op respectievelijk veen-, klei- en zandgrond. De grasproductie is per locatie voor meerdere weerjaren berekend op basis van de betreffende bodemkundige informatie. In de toets is ook de reactie op de beschikbaarheid van stikstof meegenomen. De resultaten laten zien dat voor de drie bedrijven de

berekende en gemeten grasopbrengsten in dezelfde range liggen. Geconcludeerd wordt dat de modelkoppeling tot realistische uitkomsten leidt en geschikt is om praktijksituaties door te rekenen afhankelijk van bodem en hydrologie. Bovendien is het gekoppelde modelinstrumentarium in staat om de variatie in grasgroei als gevolg van variatie in beschikbaarheid van stikstof te reproduceren.

Voor een fictief melkveebedrijf op kleigrond is met de modelkoppeling SWAP-WOFOST-BBPR een berekening uitgevoerd als voorbeeld hoe de indirecte schade zich kan verhouden tot de directe schade. Om de directe en indirecte schade vast te kunnen stellen is een bedrijfssituatie op basis van de potentiële productie, de actuele productie met alleen directe schade en de actuele productie met zowel directe als indirecte schade berekend. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de weerjaren 2001-2006. De resultaten laten zien dat de opbrengsten bij weiden beperkt lager zijn dan bij maaaien. In 2005, 2006 en 2009 waren de actuele opbrengsten met zowel directe als indirecte schade hoger dan die van de actuele opbrengsten met alleen directe schade. Bij weiden was in 2005 de actuele opbrengst met zowel directe als indirecte schade zelfs hoger dan de potentiële opbrengst. Dit wordt verklaard doordat bij uitstel van maaaien door natte omstandigheden het gras doorgroeit en uiteindelijk een relatief hoge snedeopbrengst behaalt. De jaaropbrengst wordt hierdoor ook hoger. Uitstel van maaaien ten opzichte van een gewenst maaieregime leidt weliswaar tot relatief hoge opbrengsten maar dit gaat ten koste van de voederwaarde van gras waardoor de netto voederwaardeopbrengst lager is. Om een zelfde melkproductieniveau te kunnen halen moet dit verlies gecompenseerd worden door aankoop van krachtvoer en bijproducten. Per saldo zijn de verschillen in kosten voor de betreffende voorbeeldberekening marginaal. Lagere grasopbrengsten door directe en indirecte schade kunnen tot een beter economisch bedrijfsresultaat leiden. De economische schade is echter sterk afhankelijk van de prijspeilen en de tarieven die gehanteerd worden.

METAMODELLEN VOOR HET BEREKENEN VAN GEWASSCHADE

SWAP-WOFOST bevat veel proceskennis en is getoetst aan veldexperimenten. Het model is echter relatief complex, heeft veel gegevens nodig, is rekenintensief, en vereist specialistische kennis om te draaien. Metamodellen, afgeleid van SWAP-WOFOST, vormen een interessant, eenvoudig toepasbaar, alternatief voor de HELP- en TCGB-tabellen. Een meta-model is een eenvoudig model dat de modelresultaten modelleert van een complex uitgangsmodel. In het geval van SWAP-WOFOST modelleert het meta-model de langjarig gemiddelde gewasschade of de gewasschade in een bepaald jaar. Alle andere modelresultaten van SWAP-WOFOST worden door het meta-model buiten beschouwing gelaten. Om voorspellingen te doen met het meta-model zijn veel minder invoergegevens nodig dan voor het uitgangsmodel. Een meta-model zal ook veel sneller rekenen dan het uitgangsmodel.

Bij het afleiden van metamodellen voor SWAP-WOFOST zijn de volgende stappen gevolgd. Allereerst is vastgesteld welke situaties (bodemtypen, gewassen, hydrologie, enz.) met SWAP-WOFOST moeten worden doorgerekend. Op basis hiervan zijn de invoerbestanden voor SWAP-WOFOST aangemaakt en zijn alle rekenruns met SWAP-WOFOST doorgerekend. Vervolgens zijn de SWAP-WOFOST-resultaten geaggregeerd tot meerjarige karakteristieken. Exploratieve data-analyse is uitgevoerd om inzicht te krijgen in de modelresultaten, en eventuele fouten in de SWAP-WOFOST-berekeningen aan te tonen en te corrigeren. Daarna zijn de metamodellen afgeleid (gefit) op basis van de berekeningen met SWAP-WOFOST. Ten slotte is de prestatie van de metamodellen gevalideerd. Deze stappen zijn vastgelegd in rekenscripts ter wille van de reproduceerbaarheid.

Het metamodel dat is gebruikt is een 'random forest'-model, waarbij een 'bos' (*forest*) aan beslissobomen (*regression trees*) wordt afgeleid die samen de gewasschade voorspellen ('ensemble modeling'). Dit type model staat bekend om de goede voorspelkracht.

Validatie laat zien hoe goed een metamodel SWAP-WOFOST kan nabootsen. Als het metamodel SWAP-WOFOST goed kan nabootsen en SWAP-WOFOST de werkelijkheid goed beschrijft zal het metamodel de werkelijkheid ook goed beschrijven. Het metamodel blijkt SWAP/WOFOST heel goed na te bootsen. Het percentage verklaarde variantie bij de validatie is 94% (Pearson's correlatiecoëfficiënt $r=0.97$).

Voor een waterwingebied bij Vierlingsbeek is de gewasschade vóór en ná het starten van de onttrekking berekend met de TCGB-tabellen en met de Waterwijzer Landbouw metamodellen. Verschillen kunnen worden veroorzaakt doordat bij de toepassing van de TCGB-tabellen een veel gedetailleerdere bodemschematisering is gebruikt dan de landelijke BOFEK2012-schematisering die voor de metamodellen is gebruikt. Daarnaast zijn voor de TCGB-tabellen andere weerreeksen gebruikt, een andere rekenperiode en een ander procesmodel (LAMOS in plaats van SWAP-WOFOST). Inderdaad zijn er verschillen in gewasschades berekend met de TCGB-tabellen en met de metamodellen. Er zijn echter ook veel overeenkomsten, zeker in de ruimtelijke patronen. De resultaten werden door de eindgebruiker beoordeeld als bruikbaar en niet al te afwijkend van de verwachtingen die men vooraf al had van de veranderingen.

ONDERWATERDRAINS IN WATERWIJZER LANDBOUW

De provincie Utrecht vroeg Waterwijzer Landbouw toepasbaar te maken voor het berekenen van de effecten van onderwaterdrainage op de reductie van gewasproductie door natschade en droogteschade voor de veenweiden in Utrecht en Zuid-Holland. Onderwaterdrains liggen permanent onder slootpeil en op relatief korte afstand (4-6 m) van elkaar, om de maaiveld-daling door veenaafbraak te verminderen. Doordat in droge tijden onderwaterdrains de infiltratie van slootwater substantieel bevordert zakken grondwaterstanden minder diep uit. Dit remt de veenaafbraak en halveert de snelheid waarmee het maaiveld daalt. De toename van de infiltratie in droge tijden kan droogteschade aan het gewas verminderen. Daarnaast bevorderen de drains de afvoer van overtollig neerslagwater in natte tijden, zodat natschade aan het gewas wordt beperkt en nadelige indirecte effecten als ongeschiktheid voor berijding en matige beschikbaarheid van meststoffen voor het gewas verminderen.

Alle combinaties van bodem, hydrologie en weer zijn paarsgewijs doorgerekend, zónder en mét onderwaterdrainage, om effecten van onderwaterdrainage in een bepaalde situatie duidelijk maken. Volgens de modelberekeningen heeft onderwaterdrainage een groot positief effect op de grasopbrengsten in de veenweidengebieden in provincie Utrecht. Onderwaterdrainage kan de som van nat- en droogteschade tot 4 ton per ha per jaar verminderen. Dit geldt dan voor grote natschade onder natte omstandigheden in situaties met grote kweldruk en geringe drooglegging. Het model berekent slechts een zeer geringe droogteschade. In droge situaties door grote drooglegging met sterke wegzijging reduceert onderwaterdrainage droogteschade sterk, maar niet geheel. Het instellen van een 10 cm hoger zomerpeil bij onderwaterdrainage vermindert de droogteschade met circa 200 kg drogestof per ha per jaar extra, vergeleken met de situatie zonder zomerpeil.

CONCLUSIES

De volgende doelstellingen zijn gerealiseerd:

- 1 Actualiseren van de kennis over indirecte schade bij gras en maïs, inclusief structuurbederf

en gewaskwaliteit, en deze kennis geschikt maken voor opname in de schadeberekening als onderdeel van het modelinstrumentarium.

- 2 Realiseren van de koppeling van SWAP-WOFOST met BBPR om indirecte schade en bedrijfsvoering mee te kunnen nemen bij de schadeberekeningen en toetsing van SWAP-WOFOST-BBPR aan de hand van een beperkt aantal bedrijfstypen.
- 3 Afleiden van een complete set metamodellen voor alle bodemtypen van de bodemfysische eenhedenkaart, voor meerdere klimaatscenario's en voor de gewassen gras en maïs.
- 4 Waterwijzer Landbouw is toepasbaar is gemaakt voor het berekenen van de effecten van onderwaterdrainage op de reductie van gewasproductie door natschade en droogteschade voor de specifieke omstandigheden van de veenweiden in Utrecht en Zuid-Holland.

In de volgende fases van Waterwijzer Landbouw zal verder worden gewerkt aan de toepasbaarheid van het metamodel en het modelinstrumentarium voor maatwerk, aan andere gewassen (akkerbouw, groenten, bollen) en aan de implementatie van recente kennis over zouttolerantie voor de berekening van zoutschade. Het streven is om eind 2017 een instrumentarium op te leveren dat kan worden toegepast.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

WATERWIJZER LANDBOUW FASE 3: NAAR EEN OPERATIONEEL SYSTEEM VOOR GRAS EN MAÏS

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	WOORD VOORAF	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Probleemstelling	1
	1.2 Achtergrond	1
	1.3 Fases in het project	1
	1.4 Doel	2
	1.5 Opbouw en leeswijzer	3
2	KENNIS OVER INDIRECTE NAT- EN DROOGTESCHADE BIJ GRAS EN MAÏS VOOR WATERWIJZER LANDBOUW	4
	2.1 Inleiding	4
	2.2 Indirecte droogte- en natschade	4
	2.3 Uitgangspunten literatuuronderzoek	5
	2.4 Resultaten literatuuronderzoek naar indirecte natschade bij gras	5
	2.5 Resultaten literatuuronderzoek indirecte natschade bij maïs	6
	2.6 Resultaten literatuuronderzoek indirecte zoutschade bij gras en maïs	7
	2.7 Resultaten literatuuronderzoek indirecte droogteschade bij gras en maïs	7
	2.8 Voorstellen voor operationalisering in Waterwijzer Landbouw	9

3	KOPPELING VAN SWAP-WOFOST MET BBPR	11
3.1	Wat is BBPR?	11
3.2	Kwantificering van derving van gewasopbrengst in SWAP-WOFOST-BBPR	13
3.3	Begrazing	14
3.4	Plausibiliteitstoets SWAP-WOFOST-BBPR voor de cases Zegveld, Waiboerhoeve en De Marke	14
3.5	Voorbeeldberekeningen gerelateerd aan enkele bodemfysische eenheden van de metamodellen	17
4	METAMODELLEN VOOR HET BEREKENEN VAN GEWASSCHADE	22
4.1	Wat is een meta-model?	22
4.2	Hoe wordt een meta-model afgeleid?	22
4.3	Definiëren van rekenruns	23
4.3.1	Gewas	23
4.3.2	Bodem	24
4.3.3	Meteorologie	25
4.3.4	Hydrologie	28
4.3.5	Irrigatie en zout	28
4.4	Aanmaken van invoerbestanden	28
4.5	Rekenen met SWAP-WOFOST	29
4.6	Aggregeren van de uitvoerbestanden	29
4.7	Afleiden van de metamodellen	30
4.8	Valideren van de metamodellen	30
4.9	Toepassen van de metamodellen	32
4.10	Hoe gaan de metamodellen er uitzien?	33
4.11	Conclusies	35
4.12	Aanbevelingen	36
5	ONDERWATERDRAINS IN WATERWIJZER LANDBOUW	37
5.1	Inleiding	37
5.1.1	Aanleiding	37
5.1.2	Achtergrond	37
5.2	Aanpak	38
5.3	Resultaten	40
5.3.1	SWAP-WOFOST-modellering	40
5.4	Valideren metamodellen	47
5.5	Conclusies	48
6	CONCLUSIES	49
	LITERATUUR	50
Bijlage 1	Bodemfysische relaties	55
Bijlage 2	Nadere beschrijving aanpak onderwaterdrainage	60

1

INLEIDING

1.1 PROBLEEMSTELLING

Al vele jaren is aangedrongen op vervanging van de HELP-tabellen als methode voor het berekenen van opbrengstdepressies in de landbouw in relatie tot waterhuishouding. De tabellen zijn namelijk 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.

1.2 ACHTERGROND

Onder auspiciën van STOWA is een breed draagvlak gerealiseerd voor het ontwikkelen van een methode voor het bepalen van landbouwschade in afhankelijkheid van agrohydrologische omstandigheden; deze methode wordt gebaseerd op het agrohydrologische model SWAP en het gewasgroeimodel WOFOST. Daarmee kunnen ook klimaatscenario's worden door gerekend, zodat ook klimaatrobuuste schaderelaties kunnen worden verkregen. In het project Waterwijzer Landbouw ontwikkelt een consortium van een groot aantal partijen een uniforme, breed gedragen en praktische methode voor het bepalen van klimaatbestendige relaties tussen waterhuishoudkundige condities (en veranderingen daarin) en gewasopbrengsten, dit ter vervanging van de huidige methoden. Op deze wijze krijgen waterbeheerders, maar ook agrariërs, een reproduceerbare inschatting van het effect van waterhuishoudkundige maatregelen op landbouwkundige opbrengsten, in termen van droogteschade, natschade en zoutschade. Waterwijzer Landbouw wordt daarmee een instrument dat onder meer gebruikt kan worden voor het doorrekenen van peilbesluiten en inrichtingsplannen en voor het bepalen van de invloed van grondwateronttrekkingen op gewasproductie. Nadere informatie en eerdere publicaties over het project zijn te vinden op www.Waterwijzer.nl.

Het project Waterwijzer Landbouw is gestart in het najaar van 2012 en loopt naar verwachting door tot en met 2017. In een aantal fasen wordt stapsgewijs toegewerkt naar het nieuwe instrument. In dit rapport beschrijven we de resultaten van fase 3 van het project.

1.3 FASES IN HET PROJECT

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 rapporteerden 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 in de vorm van reductie van gewasverdamping. Tevens is een eerste aanzet gegeven voor metamodellen, 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 berekening van directe schade, waarbij

langjarige 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 twee klimaatscenario's.

Al in deze fase is aandacht besteed aan de meerwaarde van de koppeling met een gewasgroeimodel en hoe indirecte schade-effecten kunnen worden meegenomen. Het is namelijk 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.

De begeleidingsgroep onder voorzitterschap van STOWA besloot om in 2013 eerst over te gaan tot een tussenfase, namelijk een plausibiliteitstoets van het opgeleverde SWAP (fase 2a). Hack-ten Broeke *et al.* (2013) brachten hierover een notitie uit waarna keuzes zijn gemaakt voor fase 2. In fase 2 is een koppeling gerealiseerd met het gewasgroeimodel WOFOST. Fase 2 resulteerde zodoende in een instrument dat niet alleen verdampingsreductie, maar juist ook de gewasopbrengstreductie kan berekenen. In eerste instantie is dit uitgewerkt voor gras, aardappel en maïs (Kroes *et al.*, 2015). Het vervolg is fase 3 van Waterwijzer Landbouw met een focus op de melkveehouderij, dus met alleen aandacht voor grasland en maïs.

In de aanloop naar deze fase 3 is door de provincie Utrecht aanvullend de vraag gesteld om Waterwijzer Landbouw voor grasland uit te breiden voor situaties met onderwaterdrainage. Daarbij is afgesproken dat de resultaten opgenomen zouden worden in het rapport over fase 3.

1.4 DOEL

Fase 3, waarvan dit rapport verslag doet, heeft de volgende doelstellingen:

- 6 Actualiseren van de kennis over indirecte schade bij gras en maïs, inclusief structuurbederf en gewaskwaliteit, en deze kennis geschikt maken voor opname in de schadeberekening als onderdeel van het modelinstrumentarium.
- 7 Realiseren van de koppeling van SWAP-WOFOST met BBPR (BedrijfsBegrotingsProgramma Rundvee (Schils *et al.*, 2007) om indirecte schade en bedrijfsvoering mee te kunnen nemen bij de schadeberekeningen.
- 8 Toetsing van SWAP-WOFOST-BBPR aan de hand van een beperkt aantal bedrijfstypen. Dit resulteert in een plausibiliteitstoets en enkele voorbeeldberekeningen.
- 9 Afleiden van een complete set metamodellen voor alle bodemtypen van de bodemfysische eenhedenkaart (BOFEK, Wösten *et al.*, 2013), voor meerdere klimaatscenario's en voor de gewassen gras en maïs.

De aanvullende doelstelling met betrekking tot onderwaterdrainage is:

- 10 Waterwijzer Landbouw toepasbaar maken voor het berekenen van de effecten van onderwaterdrainage op de reductie van gewasproductie door natschade en droogteschade voor de specifieke omstandigheden van de veenweiden in Utrecht en Zuid-Holland.

1.5 OPBOUW EN LEESWIJZER

Dit rapport beschrijft de resultaten van fase 3 van de ontwikkeling van Waterwijzer Landbouw, bestaande uit de volgende onderdelen:

- 1 Resultaten van de inventarisatie van de kennis over indirecte schade voor grasland en maïs (hoofdstuk 2).
- 2 Beschrijving van de werkwijze en de technische koppeling van SWAP-WOFOST-BBPR, waarbij indirecte schade voor grasland en maïs in de melkveehouderij is opgenomen evenals voorbeeldberekeningen met dit instrumentarium SWAP-WOFOST-BBPR voor enkele bedrijfstypen (hoofdstuk 3).
- 3 Metamodellen voor de melkveehouderij (gras en maïs) (hoofdstuk 4).
- 4 Resultaten van de extra berekeningen voor situaties met onderwaterdrainage (hoofdstuk 5).
- 5 Enkele concluderende opmerkingen (hoofdstuk 6).

2

KENNIS OVER INDIRECTE NAT- EN DROOGTESCHADE BIJ GRAS EN MAÏS VOOR WATERWIJZER LANDBOUW

2.1 INLEIDING

Droogteschade, zoutschade en natschade aan landbouwgewassen zijn te relateren aan de waterhuishoudkundige toestand. Deze schade kan direct of indirect optreden. Om een methode te ontwikkelen waarmee landbouwschade kan worden geschat in afhankelijkheid van agrohydrologische omstandigheden is zowel kennis over directe als indirecte droogte- en natschade nodig. Directe schade is de schade die direct gerelateerd kan worden aan het verschil tussen actuele en potentiële gewasverdamping. Binnen Waterwijzer Landbouw berekenen we die directe effecten met het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST (Kroes *et al.*, 2015). Kennis over indirecte schade is momenteel echter niet operationeel voor inbouw in Waterwijzer Landbouw. Deze studie heeft als doel de kennis over indirecte schade bij gras en maïs te actualiseren en geschikt te maken voor opname in de schadeberekening voor die aspecten die een niet te verwaarlozen aandeel in de totale schade innemen. Van Bakel en Hoving (2016) geven een uitgebreide beschrijving van de werkwijze voor deze studie en de gemaakte keuzes. Dit hoofdstuk is een samenvatting van dat werkdocument en geeft aan wat we voorstellen voor implementatie in Waterwijzer Landbouw.

2.2 INDIRECTE DROOGTE- EN NATSCHADE

Vormen van indirecte droogteschade zijn onder meer:

- achteruitgang in botanische samenstelling van de graszode door droogtestress;
- (gedeeltelijk) afsterven van de zode na langdurige (extreme) droogtestress;
- remming van de kieming na (her)inzaai van grasland of een ander gewas;
- niet of minder aanslaan van kiemplanten;
- indrogen van kleigrond waardoor een groot deel van het neerslagwater de wortelzone passeert via krimpscheuren;
- achteruitgang van de afrijping of kwaliteit van het oogstbaar product;
- (vervroegd) afsterven van het gewas.

Bij indirecte natschade denken we onder meer aan:

- verminderde bewerkbaarheid, bereidbaarheid en betreedbaarheid door verminderde draagkracht;
- vertrapingsverliezen;
- berijdingsverliezen;
- structuurbederf van de bodem;
- vertraagde gewasgroei doordat natte grond in het voorjaar minder snel opwarmt;

- verminderde stikstofmineralisatie;
- schade door inundatie;
- schade door ziekten en plagen die beter gedijen onder natte omstandigheden;
- verschuiving in de botanische samenstelling van de grasmat doordat sommige grassoorten minder concurrerend zijn onder natte omstandigheden en andere juist meer (zie ook Bartholomeus *et al.* (2013)).

2.3 UITGANGSPUNTEN LITERATUURONDERZOEK

Het literatuuronderzoek over indirecte schade beperkt zich tot de teelt van maïs en gras voor de melkveehouderij. Bij het zoeken naar informatie staat voorop dat de te operationaliseren kennis voldoende eenduidig moet zijn en erkend als bruikbaar voor heel Nederland en bovendien moet het te operationaliseren zijn in Waterwijzer Landbouw. Dat betekent dat we de effecten kunnen koppelen aan hydrologische karakteristieken zoals drukhoogte in de wortelzone. Ten slotte is het de bedoeling om de kennis te vertalen naar effecten op de bedrijfsvoering. Schade door inundatie van perceelsvreemd water wordt niet beschouwd, omdat daarvoor de WaterSchadeSchatter is ontwikkeld (Hoes *et al.*, 2013).

2.4 RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK NAAR INDIRECTE NATSCHADE BIJ GRAS

De volgende bronnen zijn gebruikt: Hielkema (1974), Houben (1979), Schothorst (1982), Korevaar (1986), Van Soesbergen *et al.* (1986), Van Wallenburg en Vleeshouwer (1987), De Wit (1988), Van Wijk (1984, 1988), Van Wijk *et al.* (1988), Beuving *et al.* (1989), Arts *et al.* (1994), Ten Cate *et al.* (1995), Blom *et al.* (2008), Van den Akker en De Groot (2008), Van den Akker *et al.* (2013a), Van Dijk en Van Miltenburg (2013), Hoving *et al.* (2013), Vermeulen *et al.* (2013), Holshof en Van den Pol (2014) en Schipper *et al.* (2015).

Samengevat kan uit deze literatuur het volgende worden opgemaakt. Koeien in de wei beschadigen de zode waardoor vertrappingsverliezen optreden, die groter zijn naarmate de draagkracht geringer is. Ook bij berijding of zodebemesting treden verliezen op. De draagkracht van de grond bepaalt of grasland kan worden beweid of bereden en wat de vertrappings- en berijdingsverliezen zijn. Een maat voor draagkracht is indringingsweerstand.

Met blijvende structuurverandering wordt bij grasland bedoeld op de verdichting van de wortelzone en vooral de bodem onder de bouwvoor als gevolg van berijding met zware machines. Deze verdichting leidt onder andere tot verminderde infiltratiecapaciteit, minder vochtleverend vermogen, minder aeratie, minder bodemleven, veelal geringere verzadigde doorlatendheid, veranderde onverzadigde doorlatendheid en verminderde bewortelbaarheid. De enige positieve effecten van verdichting zijn een betere betreedbaarheid en bewerkbaarheid (bij dezelfde vochtspanning).

Onder slemp of verslemping verstaan we de bodemkundige eigenschap waarbij het bovenste laagje van 1 à 2 cm dikte van de bouwvoor door regen verspoelt, zodat de bodemdeeltjes bij opdrogen een harde korst vormen. Dit kan vooral bij lichte zavelgronden en leemgronden optreden. Doordat een gezonde grasmat voldoende weerstand tegen verslemping biedt, speelt bij grasland verslemping alleen een rol als wordt ingezaaid. In principe wordt de verslemping verergerd door natte beginomstandigheden, maar de relatie met de waterhuishoudkundige toestand van de bodem lijkt zwak te zijn. Wel is aan te geven welke bodems vooral slempgevoelig zijn.

Het begin van de grasgroei is te relateren aan de temperatuursom, dat wil zeggen het aantal graaddagen (de som van de overschrijding van een bepaalde waarde van de gemiddelde temperatuur, van dagen vanaf een bepaalde datum vroeg in het voorjaar). Natte grond warmt in het voorjaar langzamer op dan droge, waardoor de grasgroei wordt uitgesteld. Dit uitstel wordt geschat op maximaal twee weken en gemiddeld één week. In het najaar koelt natte grond wellicht minder snel af dan droge, vanwege de grote warmtecapaciteit van water. Het is niet bekend of dit opweegt tegen de betere geleidbaarheid van natte grond. Het effect op graslandproductie zal minder zijn dan aan de start van het groeiseizoen omdat grasland in het najaar niet meer zo productief is.

Zuurstofgebrek in de bodem bevordert de afbraak van nitraat, met verminderde beschikbaarheid van stikstof tot gevolg en zodoende ook gevolgen voor de grasopbrengst. De mogelijkheden om dit te compenseren met extra stikstoftoediening zijn vanwege de mestwetgeving beperkt. Omdat de kans op zuurstofgebrek is te relateren aan de vochttoestand van de bodem is er een relatie tussen waterhuishoudkundige toestand van het perceel en de opbrengstproductie door stikstofgebrek.

Als land inundeert kan het gewas niet meer worden gebruikt als veevoer, zeker als inundatie vanuit waterlopen plaatsvindt. Onderscheid is dus nodig tussen inundatie door hoge grondwaterstanden of inundatie vanuit waterlopen. Water op het land door overschrijding van de infiltratiecapaciteit wordt verondersteld zo kortstondig te zijn dat dit geen indirecte schade tot gevolg heeft. Door water op het land raakt de wortelzone verzadigd met water en ontstaat zuurstoftekort, waardoor vooral bij akkerbouwgewassen al na één dag verrotting van oogstbare producten kan optreden. Ook bij grasland kan de snede verrotten als deze langere tijd onder water staat. Daarnaast kan gedurende een bepaalde periode het niet worden bereden of bewerkt of kan het grasland niet worden beweide.

Onder natte omstandigheden zullen diverse ziekten en plagen meer optreden, maar schade van bijvoorbeeld mollen en veldmuizen kan afnemen. De relatie tussen kans op ziekten en plagen en waterhuishoudkundige toestand is op basis van de literatuur nog niet voldoende te kwantificeren.

De samenstelling van de grasmat is voor een deel het resultaat van onderlinge concurrentiekracht tussen grassoorten die afhangt van het hydrologisch regime. Onder natte omstandigheden nemen de aan natte omstandigheden geadapteerde, landbouwkundig minder gewaardeerde, grassoorten de overhand waardoor de grasproductie minder kan worden. In dat geval kan de voederwaarde van het gras sterk dalen. Op basis van deze kennis is binnen BBPR een correctie aan te brengen op de netto kVEM-opbrengst en dit effect is zodoende ook opgenomen in Waterwijzer Landbouw.

2.5 RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK INDIRECTE NATSCHADE BIJ MAÏS

De volgende bronnen zijn geraadpleegd: Hokke en Tanis (1978), Boekel (1979), Alblas *et al.* (1987), Van Wijk en Feddes (1975), Van Wijk *et al.* (1988), Wopereis (1991) en CSAR (2015).

Uit deze literatuur kon het volgende worden opgemaakt. De teelt van maïs voor de melkveehouderij is te vergelijken met een eenjarig akkerbouwgewas. Voor elke bewerking of berijding dienen grenzen voor de indringingsweerstand voor optimale en onmogelijke omstandigheden te worden vastgesteld. Voor het tussentraject dient de relatie tussen (een) hydrologi-

sche variabele(n) en structuurschade te worden vastgesteld. Uitstel van de zaaidatum geeft opbrengstverlies. De bouwvoor mag bij het zaaien niet te dicht zijn. Bij losse grond is de opkomst gedurende een droge periode te traag, terwijl bij matige en vooral sterk verdichte gronden de wortelgroei in de bouwvoor soms beperkt is door zuurstofgebrek. Ook kan de indringingsweerstand te hoog zijn, vooral onder droge omstandigheden. Voor de grenzen van bewerkbaarheid en berijdbaarheid voor maïs in het voorjaar kan kennis worden benut die voor akkerbouwgewassen beschikbaar is. Een koppeling van gemeten drukhoogte en bewerkbaarheid/berijdbaarheid is daarmee ook mogelijk. In de praktijk wordt eerder voor een vroeg ras dat minder opbrengt gekozen als de kans op natte omstandigheden in het najaar groter is.

Bij sommige bodems treedt bij zware neerslag na het zaaien korstvorming op waardoor de kieming van maïs kan worden belemmerd. De relatie met de ontwateringstoestand is niet eenduidig, maar het vervloeien van de bodem bij hoge vochtgehalten (interne slemp) is wel afhankelijk van de ontwateringstoestand.

Maïs is gevoelig voor koude na het zaaien. In de literatuur is echter geen bruikbare relatie voor Nederlandse omstandigheden gevonden.

Verkruimelbaarheid is in het WIB-C-systeem (Ten Cate *et al.*, 1995) een aanduiding voor het gemak waarmee de bouwvoor zich laat verkruimelen en van de bandbreedte van het vochtgehalte waarbinnen dit mogelijk is. Dit is vooral van belang bij kleigronden. Omdat naar schatting slechts 15% van de maïs op kleigrond wordt geteeld is verkruimelbaarheid van minder belang.

2.6 RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK INDIRECTE ZOUTSCHADE BIJ GRAS EN MAÏS

Uit Van Bakel en Stuyt (2011) en Visscher (2012) kon worden opgemaakt dat gras als tolerant en maïs als matig gevoelig is te classificeren voor zout in de wortelzone. Aan de literatuur zijn geen cijfers te ontleen van zoutschade door berekening met brak water in Nederland. Deze vorm van zoutschade wordt dus voor gras en maïs niet als een probleem gezien omdat het niet of nauwelijks voorkomt.

Recent is door Stuyt *et al.* (2016) voor een groot aantal gewassen de kennis over schadedrempels geïnventariseerd en geïnterpreteerd. Een belangrijke conclusie is dat de spreiding in schadedrempels per gewas en tussen de gewassen aanzienlijk is, maar ook dat de gevonden schadedrempels redelijk goed passen bij de tabellen over zouttoleranties van landbouwgewassen die in de praktijk gangbaar zijn. Ook de schadedrempels, afgeleid uit een analyse van veldproeven naar zouttoleranties van een groot aantal gewassen die de afgelopen jaren zijn uitgevoerd bij het Zilt Proefbedrijf op Texel, sluiten hier goed bij aan. Voor gras en maïs is de conclusie niet anders dan hierboven genoemd.

2.7 RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK INDIRECTE DROOGTESCHADE BIJ GRAS EN MAÏS

De volgende bronnen zijn geraadpleegd: Van Soesbergen *et al.* (1986), Ten Cate *et al.* (1995), Ritsema (1998), Dekker (1998), CBGV, 2002; Van Hardeveld *et al.* (2006), Hendriks en Van den Akker (2012), Hoving *et al.* (2011), Puijsselaar (2012), Vroon (2012), Van den Akker *et al.* (2013a), Hendriks *et al.* (2014) en de Herinzaaiwijzer van Livestock Research van Wageningen-UR (<http://webapplicaties.wur.nl/software/herinzaaiwijzerfe/>).

Uit deze bronnen kon samenvattend het volgende worden opgemaakt. Voor gras en maïs zijn de volgende vormen van indirecte droogteschade mogelijk van belang: achteruitgang in botanische samenstelling van de graszode, (gedeeltelijk) afsterven van de zode na langdurige en extreme droogtestress, remming van de kieming na (her)inzaai van grasland of na zaaien van maïs, vertraagde herbevochtiging als gevolg van (gedeeltelijk) irreversibel indrogen van (klei) grond en (versnelde) afbraak van veen.

Door structurele droogteschade kan de samenstelling van de grasmat verschuiven naar minder productieve soorten en dus een mindere kwaliteit van het gras, waardoor het nodig is vaker opnieuw in te zaaien. Een economische kosten-baten analyse hiervoor is mogelijk met de Herinzaaiwijzer van Livestock Research van Wageningen-UR (<http://webapplicaties.wur.nl/software/herinzaaiwijzerfe/>).

Bij lang aanhoudende extreme droogte 'verbrandt' de zode, waarmee al dan niet irreversibele tweede-orde-effecten van droogtestress op het assimilatievermogen van gras worden bedoeld. Voor een verbrand gewas is na herbevochtiging tijdelijk geen normale drogestofproductie meer mogelijk. Bij ernstige verbranding is herinzaai nodig. De mate van verbranding is te koppelen aan temperatuur en berekende verdampingsreductie per snede.

Kieming van graszaad in het voorjaar kan bij sterk drogend weer en vooral bij een losse bovengrond worden geremd en het opgekomen gras kan afsterven. Vermoedelijk hangt dit eerder met bodemsamenstelling dan met grondwaterstand samen. Door berekening kan remming of afsterving van pas opgekomen gras worden voorkomen.

Zwellende en krimpende gronden en waterafstotende gronden kunnen na overschrijding van een bepaalde uitdrogingsgrens (tijdelijk) moeilijker worden herbevochtigd, waardoor deze gronden meestal droogtegevoeliger zijn dan op grond van de 'normale' bodemeigenschappen wordt berekend. Met berekening kan dit proces worden voorkomen of verminderd en dit dient in de berekening van de effecten ervan te worden verdisconteerd.

Bij verlaging van de grondwaterstand door grondwaterwinning kan de pH dalen doordat kalkrijke kwel wegvalt. Hierdoor verzuurt de wortelzone, waardoor de samenstelling van het bodemleven kan veranderen en de groei/kwaliteit van het gewas verminderen. Verzuring kan worden opgeheven door (extra) bekalking en is dus een kostenpost.

Mineralisatie van veen wordt versneld als zuurstof kan toetreden doordat veenlagen boven de grondwaterstand komen te liggen. Dit leidt tot ongewenste effecten zoals meer productie van CO₂, meer uitspoeling van N en P en (extra) maaiveldddaling. Voor ontwaterde veengronden is de relatie tussen waterhuishouding en veenafbraak/daling van het maaiveld uitermate belangrijk. Maaiveldddaling leidt meestal tot een holle maaiveldligging binnen het perceel. De middendelen van de percelen zijn daardoor in natte tijden (bolle grondwaterspiegel) extra nat en extra kwetsbaar voor plasvorming. In de voortdurend dalende veenweiden neemt wegzijging af of kwel toe, waardoor percelen steeds natter of minder droog worden. Dit is wel afhankelijk van de ontwikkeling in de tijd van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. Maaiveldddaling kan worden geremd met onderwaterdrainage, waarbij de drains permanent onder slootpeil en op relatief korte (4-6 m) afstand van elkaar liggen. Voordelen voor het landbouwkundig gebruik zijn de extra wateraanvoer in droge tijden en extra waterafvoer in natte tijden, zoals het voorjaar. Zowel droogteschade als natschade kan daarmee worden verminderd. Daarnaast kunnen onderwaterdrains nadelige indirecte effecten in de

vorm van ongeschiktheid voor berijding en matige beschikbaarheid van meststoffen voor het gewas verminderen.

Stuifgevoeligheid van grond hangt vooral af van lutum- en leemgehalte, organischestofgehalte en vochtgehalte van de bouwvoor. Alleen de relatie tussen stuifgevoeligheid en lutum- en leemgehalte is beschreven. Bij scherp drogend weer en harde wind kunnen vooral leemarme en zwak lemige gronden ernstig verstuiven, waarbij vooral de plekken met laag organischestofgehalte het meest verstuiven, wat meestal ook de hoogste plekken in het perceel zijn. De relatie met de grondwaterstand is zwak, waardoor vooralsnog geen relatie is te leggen met de waterhuishoudkundige variabelen zoals grondwaterstand of drukhoogte op een bepaalde diepte in de wortelzone. Op overstromingsgronden met een ‘betonstructuur’ kunnen bij verdroging zelfs kiemplantjes afbreken.

2.8 VOORSTELLEN VOOR OPERATIONALISERING IN WATERWIJZER LANDBOUW

Tabel 2.1, 2.2 en 2.3 geven een overzicht van de wijze waarop de indirecte effecten in Waterwijzer Landbouw zullen worden geoperationaliseerd voor gras en maïs. Tevens is gemotiveerd waarom een bepaald aspect wel of niet wordt opgenomen in Waterwijzer Landbouw. In een aantal gevallen is het belang groot, maar moeten we toch kiezen voor ‘niet meenemen’ in Waterwijzer Landbouw. Dat is alleen zo als er onvoldoende toepasbare kennis beschikbaar is, zoals voor blijvende structuurschade of als er al eerder voor gekozen is om bepaalde aspecten niet mee te nemen, zoals schade die gerelateerd is aan nutriëntenvoorziening.

TABEL 2.1 INDIRECTE NATSCHADE BIJ GRAS

Aspect	Inschatting van belang	Wel/niet in WWL	Indien wel: hoe Indien niet: motivatie
Berijdbaarheid/betreedbaarheid	Zeer groot	Wel	Gekoppeld aan kritieke drukhoogtes op 12,5 cm -mv
Bodentemperatuur	Groot	Wel	Begin grasgroei gekoppeld aan gesimuleerde bodemtemp. op 10 cm -mv (8 graden)
Blijvende structuurschade	Groot	Niet	Onvoldoende kennis om voor alle bodems aan te geven wat de actuele situatie is
Verslemping	Klein	Niet	Lang niet alle gronden zijn slempegevoelig Is voor grasland nauwelijks aan de orde
Denitrificatie/N-mineralisatie	Groot	Niet	Binnen Waterwijzer Landbouw besteden we vooralsnog geen aandacht aan nutriënten
Inundatie door hoge grondwaterstanden	Gering	Niet	Via zuurstofstressmodule in SWAP wel de daardoor veroorzaakte directe natschade
Inundatie door ‘gebiedsvreemd’ water	Gering	Niet	Wordt meegenomen in de WSS (STOWA-rapport 2013-11)
Ziekten en plagen	Gering	Niet	Beschikbare kennis niet generiek toepasbaar
‘Achteruitgang’ botanische samenstelling	Groot	Wel	Andere bestisregels in BBPR

TABEL 2.2 INDIRECTE DROOGTESCHADE BIJ GRAS

Aspect	Inschatting van belang	Wel/niet in WWL	Indien wel: hoe Indien niet: motivatie
‘Achteruitgang’ botanische samenstelling c.q. afsterven zode	Matig	Wel	Als nabewerking. Frequentie herinzaai gekoppeld aan opbrengstreductie door droogte
Vertraagde herbevochtiging	Gering	Niet	Beschikbare kennis niet generiek toepasbaar
Verzuring	Gering	Niet	Geen <i>proven knowledge</i> (wel praktijk bij winning Mander)
Afbraak van veen	Zeer groot	Wel	Zie hoofdstuk 5

TABEL 2.3 INDIRECTE NAT- EN DROOGTESCHADE BIJ MAÏS

Aspect	Inschatting van belang	Wel/niet in WWL	Indien wel: hoe Indien niet: motivatie
Bewerkbaarheid/berijdbaarheid	Groot	Wel	Gekoppeld aan drukhoogte op 20 cm –mv
Natte grond is koude grond	Matig	Wel	Verlating zaaidatum c.q. opkomst gekoppeld aan gesimuleerde bodemtemp op 6 cm –mv
Blijvende structuurschade	Groot	Niet	Onvoldoende kennis om voor alle bodems aan te geven wat de actuele situatie is
Verslemping	Gering	Niet	Beschikbare kennis niet generiek toepasbaar Periode dat het aan de orde is, is kort; wel in de tabel opgenomen vanwege het belang bij akkerbouw (vervolgonderzoek)
Verstoorde kolfzetting en vervroegde afsterving	Matig	Wel	Als nabewerking. Eerder oogsten als groei voor langere tijd (vrijwel) tot stilstand is gekomen
Inundatie door hoge grondwaterstanden	Gering	Wel	Via zuurstofstressmodule in SWAP en daardoor veroorzaakte directe natschade
Inundatie door ‘gebiedsvreemd’ water	Gering	Niet	Wordt meegenomen in de WSS (STOWA-rapport 2013-11)
Ziekten en plagen	Matig	Niet	Beschikbare kennis niet generiek toepasbaar

De indirecte effecten die we wel kwantificeren in Waterwijzer Landbouw worden voor grasland meegenomen in de koppeling met BBPR. Dat komt aan de orde in het volgende hoofdstuk. De indirecte effecten voor maïs zullen worden geïmplementeerd tegelijk met de andere akkerbouwmatige teelten in de volgende fase van het project. Deze zullen grotendeels worden verwerkt in een extra module in SWAP-WOFOST die ingrijpt in de gewaskalender.

3

KOPPELING VAN SWAP-WOFOST MET BBPR

Het instrumentarium Waterwijzer Landbouw is voor de melkveehouderij deels te beschouwen als een verdere ontwikkeling van het Waterpasmodel (De Vos *et al.*, 2006, 2007, 2008, 2010). Binnen Waterpas zijn de modellen BedrijfsBegrotingsProgramma Rundveehouderij (BBPR; Mandersloot *et al.*, 1991) en SWAP (Kroes *et al.*, 2008) aan elkaar gekoppeld om de interactie tussen de vochttoestand van de bovengrond en grasgroei in modelsimulaties mee te kunnen nemen, aanvankelijk op jaarbasis en tegenwoordig op dagbasis. Bij de koppeling op dagbasis zijn vochttoestand en grasgroei volledig geïntegreerd.

Voor Waterwijzer Landbouw is de grasgroeimodule die deel uitmaakt van BBPR vervangen door WOFOST. Zodoende ontstaat een koppeling SWAP-WOFOST-BBPR. De dynamische gewasgroei-modellering van WOFOST maakt het mogelijk om ook klimaatscenario's door te rekenen. Met de op experimenten gebaseerde rekenregels van de BBPR-grasgroeimodule is extrapolatie naar de toekomst met andere weersomstandigheden niet zomaar geoorloofd.

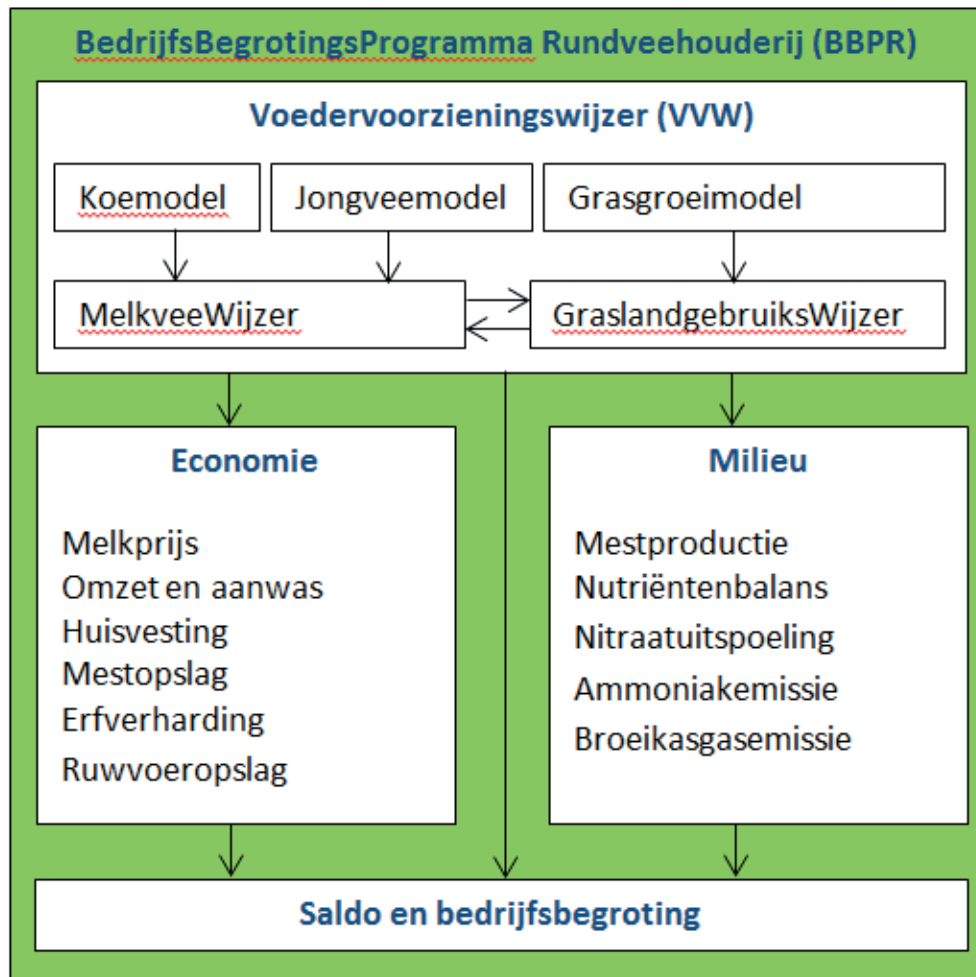
De koppeling met BBPR betekent voor Waterwijzer Landbouw de mogelijkheid om landbouwkundige bedrijfsvoering voor de melkveehouderij mee te nemen en daarmee de bijbehorende indirecte effecten (beschreven in hoofdstuk 2) en de effecten op bedrijfseconomie.

3.1 WAT IS BBPR?

BBPR bestaat uit de modules VoederveorzieningsWijzer (VWV), Economie, Milieu en een module voor het berekenen van het saldo en een bedrijfsbegroting (zie figuur 3.1). VWV (Werkgroep Normen voor de Voederveorziening, 1991; Van der Kamp *et al.*, 2003) simuleert aan de hand van de melkveestapel en de grasgroei het graslandgebruik. Het grasareaal binnen een bedrijf is opgesplitst in een aantal percelen voor melkvee en een aantal percelen voor jongvee (pinken en kalveren). De simulatie van het graslandgebruik betreft de beslissing om te weiden of te maaien en in het geval van weiden de beweidingsduur per perceel. Het graslandgebruik interacteert met de voeropname van melkvee en jongvee, wat respectievelijk wordt gesimuleerd met het Koemodel (Zom *et al.*, 2002) en het jongveemodel. De voederveorzieningswijzer berekent dus de voederveorziening op het bedrijf dat van eigen land komt (vers gras, graskuil en maïs, eventueel ander veevoedergewassen als triticale, GPS, MKS of CCM) en geeft aan hoe eventuele tekorten moeten worden aangevuld. Strategische managementkeuzes in graslandgebruik, voeding en N bemesting en milieu/ weerseffecten (droogte, natschade) worden op deze wijze meegenomen en bepalen de 'eigen' voervoorraad en daarmee de zelfvoorzieningsgraad van ruwvoer. Op basis van de voederveorziening worden vervolgens de opbrengsten, kosten en belangrijke milieueffecten berekend. Op basis van de resultaten van de modules VWV, Economie en Milieu worden saldo en bedrijfsbegroting berekend.

FIGUUR 3.1

BEDRIJFSBEGROTINGSPROGRAMMA RUNDVEEHOUDERIJ (BBPR) EN DE MODULES EN MODELLEN DIE HET VERTEGENWOORDIGT MET SCHEMATISCH WEERGEGEVEN DE ONDERLINGE UITWISSELING VAN DATA



Door rekening te houden met interacties tussen de beschikbaarheid van stikstof als meststof, de grasopname, de melkproductie, de mestproductie en het graslandgebruik hebben berekeningen op bedrijfsniveau voor de melkveehouderij een grote meerwaarde.

Voor het berekenen van de schadepercentages zijn voor Waterwijzer Landbouw een aantal wijzigingen doorgevoerd. De integratie van hydrologie en gewasgroei met SWAP-WOFOST komt in de plaats van SWAP en GRAMIN/GRAS2007, maar dit wordt wel aangevuld met informatie over de N-werking, vanuit GRAMIN/Gras2007 (zie volgende paragraaf). De directe natschade (als gevolg van zuurstofstress) is ingebouwd in SWAP. SWAP berekent per tijdstap drukhoogtes, grondwaterstanden en eventueel schijngrondwaterstanden waaruit per dag indirecte schade kan worden bepaald of om hydrologische karakteristieken te bepalen (zoals GXG) waarmee indirecte schades zijn gerelateerd. Per bedrijfstype worden x percelen gedefinieerd met elk een eigen hydrologie en een groot aantal bedrijfskenmerken die bepalen hoe er beweid en/of gemaaid gaat worden en hoe drogestofopbrengsten en bijvoeding worden omgezet in melkproductie en bedrijfsresultaat.

Per perceel wordt per dag bekeken of het 'aan de beurt is' om beweid of gemaaid te worden en of dit mogelijk is, op basis van de drukhoogte op 12,5 cm -mv. Via een opzoektabel wordt een indringingsweerstand bepaald en of hierbij niet beweid of bereiden kan

worden en op basis daarvan worden vertrapings- of berijdingsverliezen bepaald. Met het BedrijfsBegrotingsProgramma Rundvee (BBPR) kunnen landbouwkundige, milieukundige en bedrijfseconomische kengetallen worden berekend, waarmee de fysieke effecten worden omgezet in verandering in euro's per ha.

3.2 KWANTIFICERING VAN DERIVING VAN GEWASOPBRENGST IN SWAP-WOFOST-BBPR

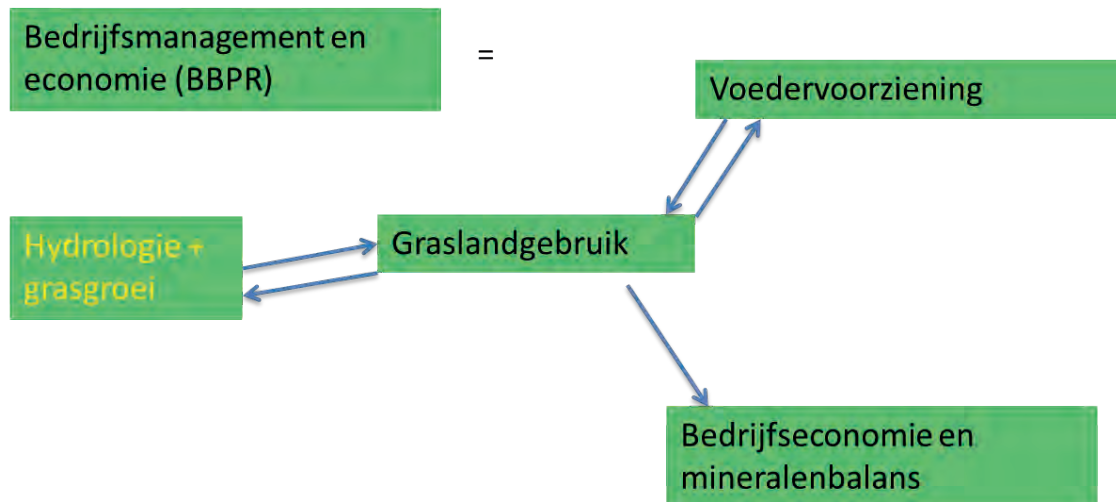
De koppeling tussen de modellen SWAP en WOFOST als resultaat van fase 2 van het project Waterwijzer Landbouw (Kroes *et al.*, 2015) levert een berekening op van potentiële en actuele productie als gevolg van het verschil tussen potentiële en actuele gewasverdamping én de dynamische gewasontwikkeling en terugkoppeling met hydrologie. De opbrengstderving die daarbij wordt berekend is uitgedrukt als het verschil tussen exploitierbare en actuele opbrengst. Exploiteerbare opbrengst is gedefinieerd als de potentiële opbrengst vermindert met onvermijdelijke verliezen. Het verschil tussen deze exploitierbare en de actuele opbrengst noemen we de directe opbrengstderving. Deze kunnen we onderverdelen in directe droogteschade, directe natschade en directe zoutschade. Overigens zijn die onvermijdbare verliezen voor grasland verwaarloosbaar klein.

De koppeling met BBPR maakt het mogelijk om de indirecte effecten zoals die in hoofdstuk 2 zijn beschreven voor grasland te kwantificeren, omdat deze indirecte effecten direct gekoppeld zijn aan het graslandgebruik, zoals dat in BBPR wordt berekend. Figuur 3.2 maakt duidelijk dat het graslandgebruik binnen BBPR direct is gekoppeld aan hydrologie en grasgroei (SWAP-WOFOST) en dat de module voor de voederverzorgingsmodule het graslandgebruik aanstuurt.

In BBPR is de N-voorziening van het grasland erg belangrijk. Voor Waterwijzer Landbouw willen we effecten van hydrologie kunnen beschouwen zonder naar andere effecten te kijken. Voor het bepalen van bijvoorbeeld bedrijfseconomische gevolgen in relatie tot gangbare bedrijfsvoering kunnen we er echter niet omheen dat in Nederland geen sprake kan zijn van optimale N-giften. Daarom is er voor gekozen om in BBPR te rekenen met een relatief hoge maar wel realistische N-gift en deze te gebruiken om een reductiefactor voor de gewasopbrengst te bepalen.

Als uitgangspunt worden hiervoor twee verschillende groeicurven gebruikt, namelijk die in BBPR beschikbaar zijn en die zijn vastgesteld uit langjarige veldproeven. Van die groeicurven is bekend hoe de stikstoflimitering het verschil veroorzaakt tussen de twee groeicurven. Het verschil tussen die twee curves op het moment van een snede wordt gebruikt als reductiefactor voor de gewasgroei van die snede. Daarmee introduceren we een reductie als gevolg van N-tekort die we apart houden van het hydrologisch effect zodat we deze afzonderlijk kunnen kwantificeren.

FIGUUR 3.2 PLEK VAN SWAP-WOFOST (HYDROLOGIE+GRASGROEI) BINNEN BBPR



3.3 BEGRAZING

Ten behoeve van de koppeling SWAP-WOFOST met BBPR is een begrazingsmodule in SWAP-WOFOST gerealiseerd. Op het moment dat begrazing plaatsvindt, geeft BBPR per dag van begrazing de gewasopname en de gewasschade als gevolg van begrazing door aan SWAP-WOFOST. Hiermee wijkt de begrazingsmodule af van de maaimodule. In de maaimodule wordt na een maaimoment de hoeveelheid gewas op het land teruggebracht naar een initiële hoeveelheid. Op dat moment start een nieuwe snede en is de potentiële gewastoeestand gelijk aan de actuele gewastoeestand. Doordat bij begrazing wordt uitgegaan van een gewasopname per dag en dus een geleidelijke afname van de hoeveelheid gras gedurende de weideperiode zal er na afloop van de weideperiode een andere situatie zijn ontstaan. We stellen dan de potentiële gewastoeestand gelijk aan de actuele gewastoeestand om aan de volgende snede te kunnen beginnen.

3.4 PLAUSIBILITEITSTOETS SWAP-WOFOST-BBPR VOOR DE CASES ZEGVELD, WAIBOERHOEVE EN DE MARKE

De modelkoppeling SWAP-WOFOST-BBPR is getoetst aan de hand van grasopbrengsten die gemeten zijn op de melkveeproefbedrijven KTC Zegveld, De Waiboerhoeve en De Marke. Deze proefbedrijven zijn gekozen vanwege de verschillen in grondsoort, immers respectievelijk veen-, klei- en zandgrond. De grasproductie is per locatie voor meerdere weerjaren berekend op basis van de betreffende bodemkundige informatie. Voor Zegveld en Waiboerhoeve is gerekend met BOFEK-eenheden (Wösten *et al.*, 2012) zoals die ook gebruikt zijn voor de metarelaties. Voor De Marke is gebruik gemaakt van bodemfysische karakteristieken zoals gebruikt door Hack-ten Broeke (2000). De BOFEK-eenheden voor Zegveld en Waiboerhoeve zijn:

- Zegveld: BOFEK 101 (veengrond), kleilig moerige bovengrond of kleidek op eutroof veen tot ten minste 120 cm-mv;
- Waiboerhoeve: BOFEK 421 (kleigrond), klei op zand (marien).

Naast bodem en hydrologie is de stikstofvoorziening een belangrijke parameter voor grasgroei. In de toets is zodoende ook de reactie op de beschikbaarheid van stikstof meege-nomen. Stikstof (N) komt vrij door mineralisatie van organische stof en wordt toegediend in de vorm van dierlijke mest en kunstmest. Door het N-gehalte van bodemmonsters te analyseren wordt het stikstofleverend vermogen van de bodem (NLV) bepaald. Het NLV en het N-bemestingsniveau worden in de invoer van BBPR opgegeven. De verdeling van N over de

sneden en de uiteindelijke totale hoeveelheden zijn afhankelijk van de bedrijfsopzet en het graslandgebruik en wordt door het model bepaald.

Voor de selectie van de meetgegevens was van belang dat per locatie van meerdere weerjaren metingen beschikbaar waren, dat het NLV bekend was en dat er meerdere N-bemestingsniveaus zijn gehanteerd. In tabel 3.1 staan de gebruikte gegevens. De opbrengsten betreffen drogestofopbrengsten die zijn bepaald door middel van het uitmaaien van stroken. Het verse gras is gewogen, gedroogd en opnieuw gewogen om het drogestofgehalte te bepalen.

TABEL 3.1 GEMETEN GRASOPBRENGSTEN OP DE PROEFBEDRIJVEN KTC ZEGVELD, DE WAIBOERHOEVE EN DE MARKE BIJ MEERDERE N-BEMESTINGSNIVEAUS EN MEERDERE WEERJAREN GEGEVEN HET STIKSTOFLEVEREND VERMOGEN (NLV) VAN DE BODEM

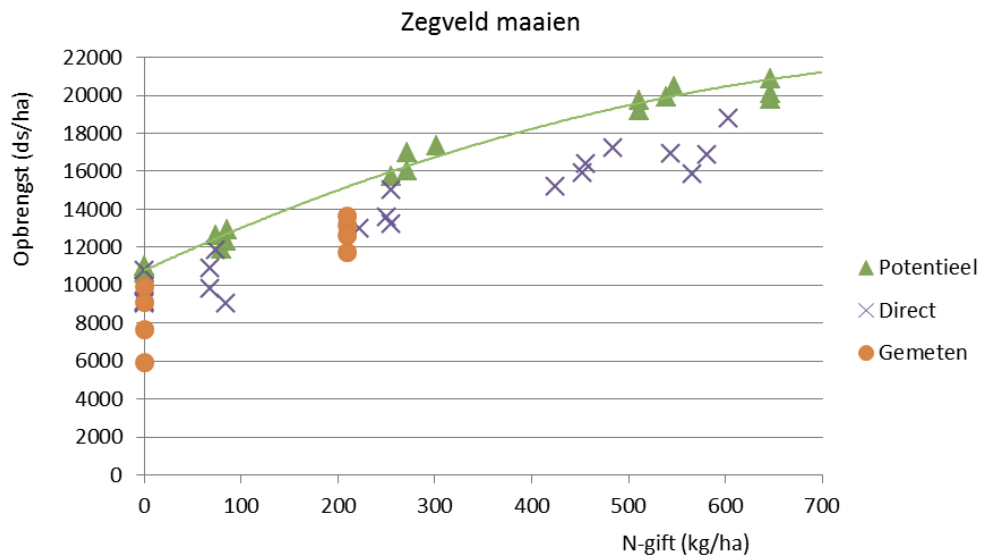
	Grasopbrengst (kg droge stof. ha ⁻¹ .jaar ⁻¹)					N-bemesting (kg ha ⁻¹ .jaar ⁻¹)				
	N0	N1	N2	N3	N4	N0	N1	N2	N3	N4
<i>Zegveld</i>										
NLV=230 kg.ha ⁻¹ .jaar ⁻¹										
2004	9084			13173		0			210	
2005	7639			12592		0			210	
2006	5931			11725		0			210	
2007	9930			13616		0			210	
<i>Waiboerhoeve</i>										
NLV=140 kg.ha ⁻¹ .jaar ⁻¹										
2009	7042	9524	11075	12463		0	70	140	210	
2010	8119	10760	12311	13543		0	70	140	210	
<i>De Marke</i>										
NLV=110 kg.ha ⁻¹ .jaar ⁻¹										
2010			8818					168		
2011					11542					251
2012				12199					197	
2013					11362					257

Voor de berekeningen met de modelkoppeling SWAP-WOFOST-BBPR zijn alle situaties uit tabel 3.1 doorgerekend, dus voor de gegeven weerjaren, de gehanteerde N-giften en het betreffende NLV van de bodem. Bij de berekeningen is uitsluitend uitgegaan van maaien en niet van weiden, om een goede vergelijking te kunnen maken met de gemeten grasopbrengsten. Per situatie (weerjaar en N-gift) zijn twee varianten doorgerekend:

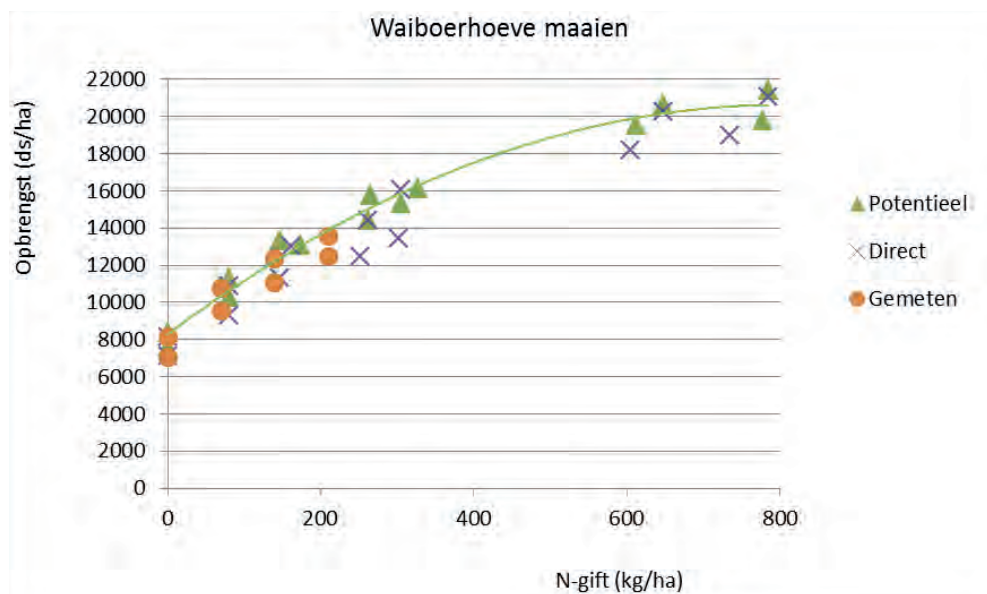
- 1 de potentiële opbrengst zonder reductie van groei door directe of indirecte schade (Potentieel);
- 2 de actuele opbrengst met directe schade, groeireductie door droogte of vernatting (Direct).

De resultaten van de berekeningen met de modelkoppeling SWAP-WOFOST-BBPR en de toetsing aan de gemeten grasopbrengsten staan in de Figuren 3.3, 3.4 en 3.5 voor respectievelijk de proeflocaties KTC Zegveld, de Waiboerhoeve en de Marke. In de figuren is de grasopbrengst uitgezet tegen de N-gift. Voor de berekende opbrengsten is onderscheid gemaakt tussen de potentiële en de actuele opbrengst met uitsluitend directe schade.

FIGUUR 3.3 RESULTAAT VAN DE BEREKENDE POTENTIELE (POTENTIEEL) EN ACTUELE OPBRENGST MET DIRECTE SCHADE (DIRECT) MET DE MODELKOPPELING SWAP-WOFOST-BBPR EN GEMETEN GRASOPBRENGSTEN (GEMETEN) AFHANKELIJK VAN DE N-GIFT VOOR DE PROEFLOCATIE KTC ZEGVELD (VEENGROND)

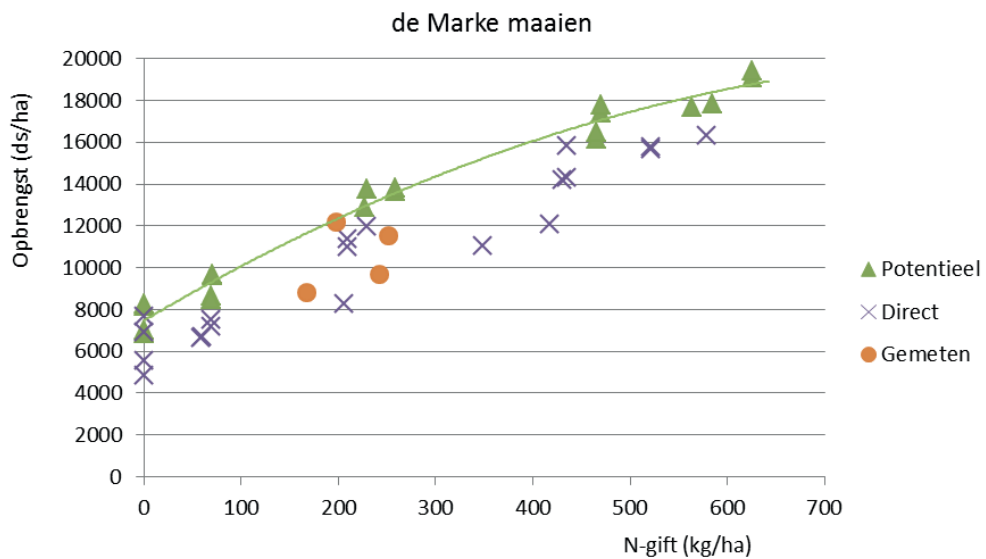


FIGUUR 3.4 RESULTAAT VAN DE BEREKENDE POTENTIELE (POTENTIEEL) EN ACTUELE OPBRENGST MET DIRECTE SCHADE (DIRECT) MET DE MODELKOPPELING SWAP-WOFOST-BBPR EN GEMETEN GRASOPBRENGSTEN (GEMETEN) AFHANKELIJK VAN DE N-GIFT VOOR DE WAIBOERHOEVE (KLEIGROND)



FIGUUR 3.5

RESULTAAT VAN DE BEREKENDE POTENTIELE (POTENTIEEL) EN ACTUELE OPBRENGST MET DIRECTE SCHADE (DIRECT) MET DE MODELKOPPELING SWAP-WOFOST-BBPR EN GEMETEN GRASOPBRENGSTEN (GEMETEN) AFHANKELIJK VAN DE N-GIFT VOOR DE MARKE (ZANDGROND)



De resultaten laten zien dat voor de drie bedrijven de berekende en gemeten grasopbrengsten in dezelfde range liggen. Daarbij wordt de reactie op NLV en N-bemesting goed gesimuleerd. Voor de Waiboerhoeve werden potentiële opbrengsten berekend die ongeveer gelijk zijn aan de gemeten grasopbrengsten. Bekend is dat in beide weerjaren de grasproductie relatief hoog was en de uitkomsten lijken zodoende plausibel. Voor de Waiboerhoeve waren geen opbrengsten van andere weerjaren bij meerdere stikstofbemestingsniveaus beschikbaar. Overigens zijn de bodemkundige en hydrologische condities op de Waiboerhoeve bijzonder gunstig, waardoor de grasopbrengsten altijd relatief hoog zijn. Op Zegveld en De Marke was de variatie in gemeten opbrengsten wel vrij groot. De gemeten grasopbrengsten betreffen per definitie de actuele opbrengst inclusief schade. De potentiële opbrengst kan dus in principe niet gevalideerd worden.

Geconcludeerd wordt dat de modelkoppeling tot realistische uitkomsten leidt en geschikt is om praktijksituaties door te rekenen afhankelijk van bodem en hydrologie. Bovendien is het gekoppelde modelinstrumentarium in staat om de variatie in grasgroei als gevolg van variatie in beschikbaarheid van stikstof te reproduceren.

3.5 VOORBEELDBEREKENINGEN GERELATEERD AAN ENKELE BODEMFYSISCHE EENHEDEN VAN DE METAMODELLEN

De modelkoppeling SWAP-WOFOST-BBPR is vooral bedoeld om indirecte schade door suboptimaal graslandgebruik te kunnen kwantificeren. Voor een fictief melkveebedrijf op kleigrond is met de modelkoppeling SWAP-WOFOST-BBPR een berekening uitgevoerd als voorbeeld hoe de indirecte schade zich kan verhouden tot de directe schade. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van dezelfde uitgangspunten waarmee de plausibiliteitstoets is uitgevoerd voor de Waiboerhoeve (zie paragraaf 3.4). Hierbij is onderscheid gemaakt tussen maaien en weiden. Bij maaien wordt het geoogste gras ingekuuld en op stal gevoerd en bij weiden nemen de melkkoeien in het zomerhalfjaar een substantieel deel van het rantsoen op door te grazen. Gras dat over is wordt gemaaid en ingekuuld en gebruikt als wintervoorraad. Om de directe en indirecte schade vast te kunnen stellen is een bedrijfssituatie op basis van de potentiële productie, de actuele productie met alleen directe schade en de actuele productie met zowel

directe als indirecte schade berekend. Verschillen in grasproductie zorgen voor een verandering van kosten voor onder andere krachtvoer, ruwvoer, loonwerk, bemesting en brandstof. Uit de verschillen in productie worden schadepercentages berekend en uit de verschillen in kosten kan de economische schade worden bepaald.

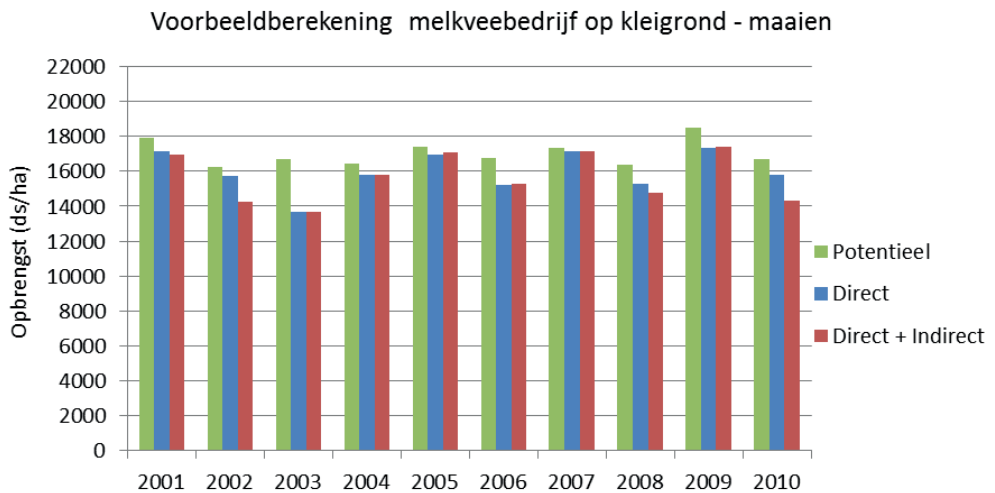
Het bedrijf is zodanig opgezet dat het op basis van de potentiële opbrengst volledig zelfvoorzienend is in ruwvoer. In de situaties met directe en indirecte schade is de grasproductie lager en dient voer aangekocht te worden.

De belangrijkste kenmerken van het voorbeeldbedrijf zijn:

- Grondsoort klei (BOFEK 421)
- Melkkoeien 140
- Areaal gras 48 ha
- Areaal maïs 12 ha
- Melkproductie per koe 8500 l per koe per jaar
- Stikstofbemestingsregime 100% (N is niet beperkend)
- Beweidingsstelsel beperkt weiden (alleen overdag)

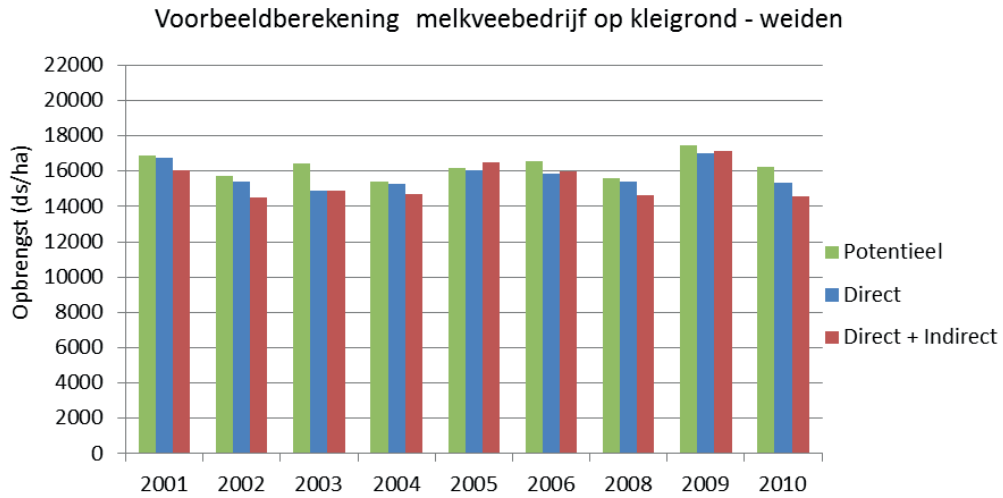
De berekeningen zijn uitgevoerd voor de weerjaren 2001-2006. In Figuur 3.6 en 3.7 staan respectievelijk de resultaten voor maaien en weiden.

FIGUUR 3.6 VOORBEELDBEREKENING MELKVEEBEDRIJF OP KLEIGROND DAT VOOR DE VOEDERVOORZIENING UITSLUITEND MAAIT OP BASIS VAN DE POTENTIËLE GRASOPBRENGST (POTENTIEEL), DE ACTUELE OPBRENGST MET DIRECTE SCHADE (DIRECT) EN DE ACTUELE OPBRENGST MET DIRECTE EN INDIRECTE SCHADE (DIRECT + INDIRECT)



FIGUUR 3.7

VOORBEELDBEREKENING MELKVEEBEDRIJF OP KLEIGROND WAARBIJ DE MELKKOEIEN GEWEID WORDEN OP BASIS VAN DE POTENTIËLE GRASOPBRENGST (POTENTIËLE), DE ACTUELE OPBRENGST MET DIRECTE SCHADE (DIRECT) EN DE ACTUELE OPBRENGST MET DIRECTE EN INDIRECTE SCHADE (DIRECT + INDIRECT)



De resultaten laten zien dat de opbrengsten bij weiden beperkt lager zijn dan bij maaien. In de praktijk is dit ook het geval, maar zijn de verschillen groter doordat het programma het graslandgebruik optimaler kan plannen dan dat een melkveehouder dat kan. Het jaar 2003 was relatief droog, wat in de berekeningen tot uiting komt in een relatief groot verschil tussen de potentiële opbrengst en de actuele opbrengst, vooral bij maaien. In 2005, 2006 en 2009 waren de actuele opbrengsten met zowel directe als indirecte schade hoger dan die van de actuele opbrengsten met alleen directe schade. Bij weiden was in 2005 de actuele opbrengst met zowel directe als indirecte schade zelfs hoger dan de potentiële opbrengst. Dit wordt verklaard doordat bij uitstel van maaien door natte omstandigheden het gras doorgroeit en uiteindelijk een relatief hoge snedeopbrengst behaalt. De jaaropbrengst wordt hierdoor ook hoger. Uitstel van maaien ten opzichte van een gewenst maairegime leidt weliswaar tot relatief hoge opbrengsten maar dit gaat ten koste van de voederwaarde van gras waardoor de netto voederwaardeopbrengst lager is. Om een zelfde melkproductieniveau te kunnen halen moet dit verlies gecompenseerd worden door aankoop van krachtvoer en bijproducten. Dit heeft negatieve gevolgen voor het economisch bedrijfsresultaat. Het maairegime dat wordt ingesteld om te zware sneden te voorkomen heeft dus invloed op het uiteindelijke productieniveau. In tabel 3.2 staan de schadepercentsages voor directe en indirecte schade, bepaald ten opzichte van de potentiële opbrengst. Daarbij is voor de directe schade onderscheid gemaakt in schade door droogte, zuurstofstress (natschade) en zout. Indirecte schade wordt voor het voorbeeldbedrijf op kleigrond alleen veroorzaakt door te natte omstandigheden. Andere vormen van indirecte schade zijn extra graslandvernieuwing door relatief droge omstandigheden of een verslechtering van de botanische samenstelling door relatief natte omstandigheden die niet te herstellen is. Voor het kwantificeren van deze effecten zijn aanvullende bedrijfsberekeningen nodig waarin respectievelijk het aandeel herinzaai wordt vergroot of de voederwaarde van het gras wordt verlaagd. Zoutschade is voor grasland bijna nooit aan de orde en volgens de uitgevoerde berekeningen ook niet.

TABEL 3.2 PERCENTAGES DIRECTE EN INDIRECTE SCHADE VOORBEELDBEREKENING MELKVEEBEDRIJF OP KLEIGROND PER WEERJAAR EN GEMIDDELD OVER DE WEERJAREN (VET GEDRUKT)

	Nat	Directe schade		Indirecte schade
		Droog	Zout	Nat
Maaien	1.0	5.0	0.0	2.2
2001	2.8	1.4	0	1.2
2002	2.6	0.5	0	8.9
2003	0.0	18.3	0	0.0
2004	2.1	1.8	0	0.0
2005	1.1	1.4	0	0.0
2006	0.2	8.9	0	0.0
Weiden	0.3	2.8	0.0	2.5
2001	0.4	0.3	0	4.0
2002	1.6	0.3	0	5.9
2003	0.0	9.4	0	0.0
2004	0.4	0.4	0	3.8
2005	0.3	0.4	0	0.0
2006	0.1	4.0	0	0.0

De verschillen in grasproductie zorgen voor een verandering van kosten voor o.a. krachtvoer, ruwvoer, loonwerk, bemesting en brandstof. Hieruit kan de economische schade worden bepaald.

De belangrijkste kostenposten staan in Tabel 3.3. Daarbij is onderscheid gemaakt in toegerekende en niet toegerekende kosten zoals dat in de agrarische bedrijfseconomie gebruikelijk is. De toegerekende kosten betreffen de directe of variabele kosten en de niet toegerekende kosten betreffen de kosten van grond, arbeid en vaste kapitaalgoederen. Alleen de kosten die samenhangen met een verandering in grasproductie of graslandgebruik in relatie tot bodem en hydrologie zijn meegenomen. Voor de prijspeilen en tarieven is gebruik gemaakt van de KWIN 2016-2017.

TABEL 3.3 DE BELANGRIJKSTE KOSTENPOSTEN UIT DE VOORBEELDBEREKENING VOOR EEN MELKVEEBEDRIJF OP KLEIGROND VOOR MAAIEN EN WEIDEN OP BASIS VAN DE POTENTIELE, DE ACTUELE PRODUCTIE MET ALLEEN DIRECTE SCHADE EN DE ACTUELE PRODUCTIE MET DIRECTE EN INDIRECTE SCHADE. PRIJSPEILEN EN TARIEVEN OP BASIS VAN KWIN 2016-2017

	Maaien			Weiden		
	Potentieel	Direct	Indirect	Potentieel	Direct	Indirect
Toegerekende kosten (euro)						
Krachtvoer	84256	84370	84439	84972	84830	84916
Ruwvoer	5770	10321	11735	12489	15780	17076
Kunstmest	27419	25134	23395	22523	21803	20169
Totaal toegerekende kosten	117445	119825	119569	119984	122413	122161
Vershil met potentieel		2380	2124		2429	2177
Niet toegerekende kosten (euro)						
Loonwerk voederwinning grasland	31613	29991	28568	18740	17934	16052
Loonwerk mest uitrijden	9518	9567	9636	7805	7843	7862
Loonwerk aankoop snijmaïs	0	395	519	703	984	1092
Kosten mestafvoer	22170	21267	20819	20015	19628	19388
Brandstof	6770	6548	6348	5776	5656	5347
Totaal niet toegerekende kosten	70072	67768	65890	53039	52045	49740
Vershil met potentieel		-2304	-4182		-994	-3299
Totaal kosten (euro)	187517	187593	185460	173023	174458	171901
Vershil met potentieel		76	-2057		1435	-1122

De resultaten laten zien dat de totale toegerekende kosten bij de actuele opbrengst met directe en indirecte schade stijgt ten opzichte van de potentiële opbrengst, maar dat de niet toegerekende kosten dalen. Vooral de kosten voor loonwerk voederwinning grasland dalen. De kosten voor mest uitrijden stijgen door een lager aantal weide-uren en meer opvang van mest in de stal. De kosten voor mestafvoer dalen door extra bijvoeding in de vorm van maïs als compensatie voor de lagere grasopbrengst. Meer maïs in het rantsoen verlaagt het eiwitgehalte in het rantsoen en laat het ureumgehalte in de melk dalen. Hierdoor hoeft volgens de mestwetgeving een bedrijf minder mest af te zetten. De brandstofkosten dalen doordat het maaipercentage stijgt en minder vaak grasresten na weiden weggemaaid hoeven te worden.

Per saldo zijn de verschillen in kosten voor de betreffende voorbeeldberekening marginaal. Lagere grasopbrengsten door directe en indirecte schade kunnen dus tot een beter economisch bedrijfsresultaat leiden. Let wel, de economische schade is sterk afhankelijk van de prijspeilen en de tarieven die gehanteerd worden.

4

METAMODELLEN VOOR HET BEREKENEN VAN GEWASSCHADE

4.1 WAT IS EEN METAMODEL?

SWAP-WOFOST bevat veel proceskennis en is getoetst aan veldexperimenten. De keerzijde is dat dit model relatief complex is, veel gegevens nodig heeft, rekenintensief is, en specialistische kennis vereist om te draaien. Metamodellen, afgeleid van SWAP-WOFOST, vormen een interessant, eenvoudig toepasbaar, alternatief voor de HELP- en TCGB-tabellen.

Een metamodel is een model van een model. Met het model SWAP-WOFOST wordt gewasgroei rechtstreeks gemodelleerd. Met een metamodel van SWAP-WOFOST wordt gewasgroei gemodelleerd zoals berekend met SWAP-WOFOST. Een metamodel modelleert dus modelresultaten van een ander model (het uitgangsmodel).

Een metamodel is doorgaans eenvoudiger dan het uitgangsmodel dat er aan ten grondslag ligt, omdat een metamodel meestal maar een klein aspect van het uitgangsmodel modelleert. In het geval van SWAP-WOFOST is dat bijvoorbeeld de langjarig gemiddelde gewasschade of de gewasschade in een bepaald jaar. Alle andere modelresultaten van SWAP-WOFOST zoals de dagelijkse variatie in het bodemvochtgehalte, of de ontwikkeling van de wortelmassa worden door het metamodel buiten beschouwing gelaten.

De relatieve eenvoud van een metamodel brengt ook andere voordelen met zich mee. Om voorspellingen te doen met het metamodel zijn veel minder invoergegevens nodig dan voor het uitgangsmodel. Voor het uitgangsmodel moet bijvoorbeeld de laagsgewijze opbouw van de bodem bekend zijn en een gedetailleerde beschrijving van een groot aantal gewaseigenschappen. Bij het metamodel is de specificatie van de bodemopbouw vervangen door het bodemtype en de lijst aan gewaseigenschappen door de naam van het gewas. Een metamodel zal ook veel sneller rekenen dan het uitgangsmodel. Dit maakt het metamodel dan ook breder inzetbaar. Denk bijvoorbeeld aan situaties waarbij grote gebieden moeten worden doorgerekend.

4.2 HOE WORDT EEN METAMODEL AFGELEID?

Bij het afleiden van metamodellen voor SWAP-WOFOST zijn de volgende stappen gevolgd:

- 1 Definiëren van de rekenruns. Dat wil zeggen, vaststellen welke situaties (bodemtypen, gewassen, hydrologie, enz.) met SWAP-WOFOST moeten worden doorgerekend (paragraaf 4.3);
- 2 Het aanmaken van invoerbestanden voor SWAP-WOFOST op basis van deze definities (paragraaf 4.4);
- 3 Het doorrekenen van alle rekenruns met SWAP-WOFOST (paragraaf 4.5);

- 4 Aggregeren van SWAP-WOFOST-resultaten tot meerjarige karakteristieken (paragraaf 4.6);
- 5 Exploratieve data-analyse. Een belangrijk doel van deze stap is om inzicht te krijgen in de modelresultaten, en eventuele fouten in de SWAP-WOFOST-berekeningen aan te tonen en te corrigeren (paragraaf 4.7);
- 6 Afleiden (fitten) van metamodellen op basis van de berekeningen met SWAP-WOFOST (paragraaf 4.7);
- 7 Validatie van de metamodellen. We willen immers weten hoe goed de metamodellen presteren (paragraaf 4.8).

Deze stappen zijn vastgelegd in rekenscripts ter wille van de reproduceerbaarheid, en worden in onderstaande hoofdstukken beschreven.

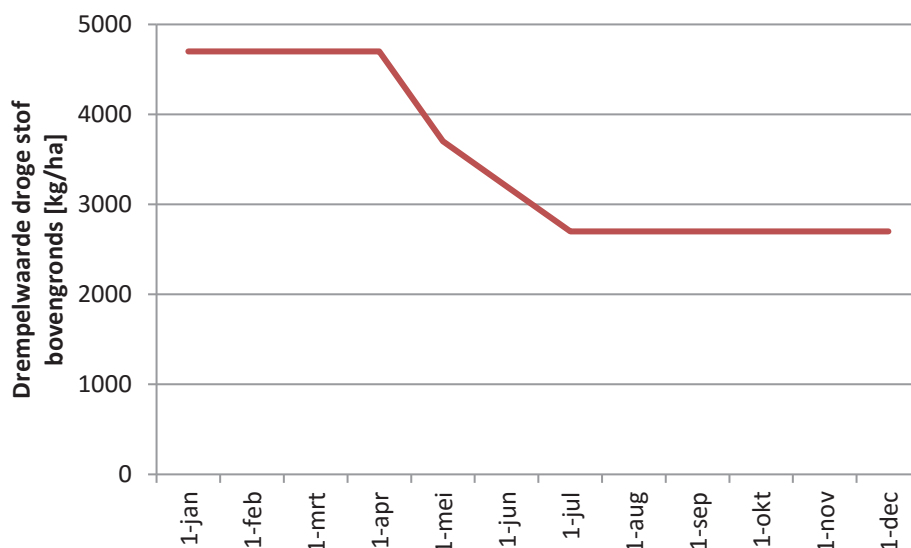
4.3 DEFINIËREN VAN REKENRUNS

Als eerste stap is een groot aantal rekenruns gedefinieerd dat met SWAP-WOFOST moet worden doorgerekend. Deze rekenruns moeten kenmerkend zijn voor een verscheidenheid aan klimatologische, bodemkundige, hydrologische en agronomische omstandigheden in Nederland. De definities moeten niet alleen het huidige klimaat representeren, maar ook rekening houden met klimaatverandering. Het doel van de metamodellen is het voorspellen van meerjarige karakteristieken voor droogte-, zuurstof- en zout schade bij gewassen. In onderstaande paragrafen gaan we nader in op de gewassen, bodemtypes, meteorologische omstandigheden en hydrologische condities die zijn doorgerekend.

4.3.1 GEWAS

Er is gerekend voor twee gewassen: gras en maïs. Voor gras moet het te hanteren maaieregime globaal overeenkomen met het opgelegde maaieregime van BBPR waarbij alleen sprake is van maaien en niet van begrazing. Het SWAP-WOFOST-model is zo aangepast dat het maaieregime kan worden opgegeven met een drempelwaarde droge stof bovengronds als functie van tijd (zie figuur 4.1).

FIGUUR 4.1 OPGELEGD MAAIEREGIME MET DREMPELWAARDE DROGE STOF BOVENGRONDS ALS FUNCTIE VAN DE TIJD



Hierop zijn twee uitzonderingen van toepassing:

- de maximale duur van een grassnede is ingesteld op zes weken, afgezien van de eerste grassnede omdat deze als gevolg van te lage temperatuur vertraagd op gang komt;

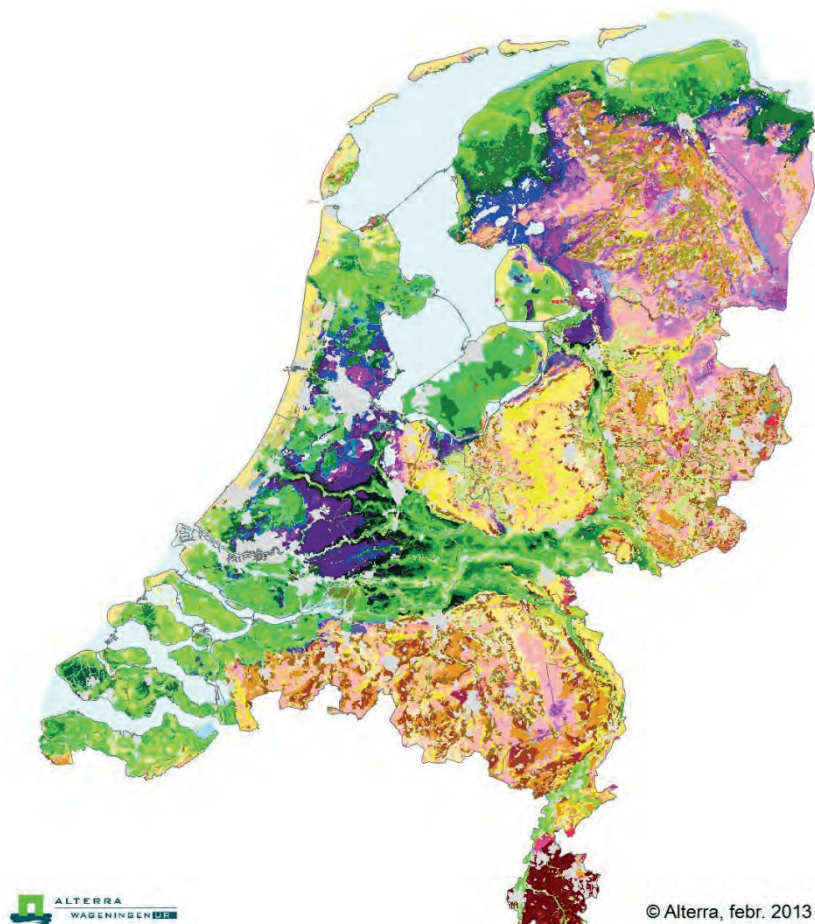
- de grassnede die na 1 oktober nog gemaaid is wordt meegenomen in de schadeberekening. Gewasderiving na deze snede wordt niet meer gezien als derving.

Gevolg van deze werkwijze is dat de actuele gewasopbrengst over een jaar meer groeidagen bevat dan de potentiële gewasopbrengst en dat daarmee ook kans bestaat op een hogere gewasopbrengst in de actuele situatie. Om dit te voorkomen wordt de duur van actuele situatie (dus inclusief laatste snede na 1 oktober) geprojecteerd op de potentiële situatie.

4.3.2 BODEM

De bodemfysische schematisering is overgenomen uit Wösten *et al.* (2013). Deze schematisering staat bekend als BOFEK 2012 en is weergegeven in Figuur 4.2. BOFEK 2012 bevat 72 bodemprofielen die de bodemfysische opbouw van de bovenste 1,2 m van de bodem weergeven voor heel Nederland. Voor berekeningen met SWAP-WOFOST is het noodzakelijk dat het profiel wordt verlengd om ook diepere grondwaterstanden te kunnen berekenen. We hebben hiertoe de onderste bodemlaag verlengd tot 5 m beneden maaiveld. De bodemfysische relaties worden gemodelleerd met de Mualem-Van-Genuchtenparameters zoals gegeven in Wösten *et al.* (2013). Bijlage 1 geeft details van de bodemfysische schematisering.

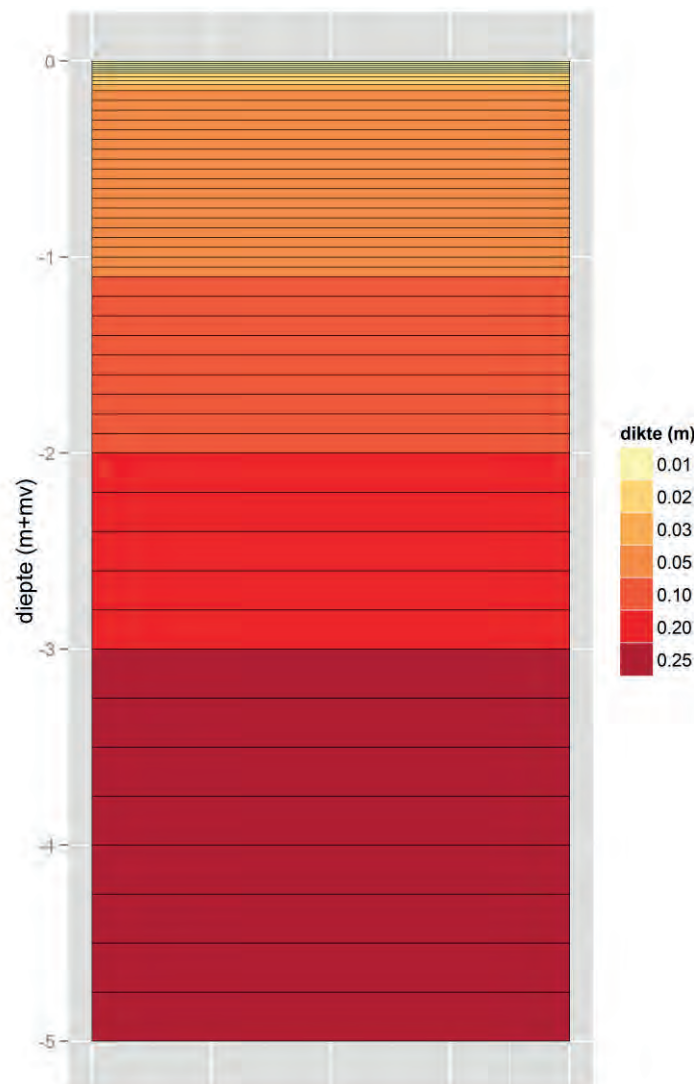
FIGUUR 4.2 BODEMFYSISCH INDELING VAN NEDERLAND VOLGENS BOFEK-2012



Voor het berekenen van waterstroming moet het bodemprofiel worden opgedeeld in rekenlaagjes. Voor elk bodemprofiel is gebruik gemaakt van dezelfde opdeling. Figuur 4.3 geeft deze weer. Merk op dat de rekenlaagjes boven in het profiel dunner zijn dan onder in het

profiel omdat de processen (verdamping, wortelopname, temperatuurverloop, e.d.) daar dynamischer zijn.

FIGUUR 4.3 OPDELING VAN HET BODEMPROFIEL IN REKENLAGEN. HET MAAIVELD IS AAN DE BOVENKANT VAN DE FIGUUR (BIJ DIEPTE = 0 M)



4.3.3 METEOROLOGIE

De meteorologische gegevens zijn grotendeels afkomstig van het KNMI. Het gaat hier om de globale straling, de minimum temperatuur, de maximum temperatuur, de luchtvochtigheid, de windsnelheid, de neerslagsom, en de neerslagduur op dagbasis. Deze gegevens zijn verzameld voor vijf KNMI-hoofdstations (Figuur 4.). Van noord naar zuid zijn dit: Eelde (station 280), De Kooy (station 235), De Bilt (station 260), Vlissingen (station 310) en Maastricht (station 380). Voor elk KNMI-station zijn vijf sets van tijdreeksen samengesteld. Eén set representeert het huidige klimaat en is gebaseerd op metingen in de periode 1981-2010 (de referentieperiode), de overige vier sets hebben betrekking op de KNMI-2014 klimaatscenario's (Figuur 4.). Elke set bevat zeven tijdreeksen (globale straling, minimum en maximum temperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid, neerslagsom, en neerslagduur). In totaal zijn er dus $5 \times 5 \times 7 = 175$ tijdreeksen samengesteld, elk met een lengte van 30 jaar. De vier klimaatscenario's hebben betrekking op de 30-jarige periode rond 2050 zoals vastgesteld door het KNMI.

Gegevens die bij het KNMI niet beschikbaar waren zijn op een andere wijze afgeleid. In onderstaande paragrafen wordt hier dieper op in gegaan.

De keuze voor deze vijf hoofdstations komt niet overeen met de districten zoals die in het verleden zijn gehanteerd voor het afleiden van de TCGB-tabellen. Of we alsnog voor andere meteostations modelruns moeten doen voor het metamodel zal besproken worden in een volgende fase van het Waterwijzer Landbouwproject.

Het metamodel kan op basis van de berekeningen resultaten genereren voor het huidige weer en voor klimaatscenario's. Deze resultaten betreffen langjarig gemiddelde gewasopbrengsten en opbrengstderving of resultaten voor een specifiek jaar (x % droogtejaar bijvoorbeeld). Het metamodel levert geen informatie op over variaties binnen een jaar of over extreme weersituaties. Voor dergelijke maatwerkberekeningen blijft het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST afzonderlijk inzetbaar.

NEERSLAGSOM

De neerslagsom is op dagbasis beschikbaar voor alle scenario's en de referentieperiode 1981-2010.

NEERSLAGDUUR

De neerslagduur is alleen beschikbaar voor de referentieperiode 1981-2010. De neerslagduur voor de scenario's is verkregen met het volgende regressiemodel:

$$\log(P_{\text{duur}} + 1) = b \times \log(P_{\text{som}} + 1)$$

waarin P_{duur} de neerslagduur (dagen), P_{som} de neerslagsom (mm/dag), en b de richtingscoëfficiënt is. Dit model is afgeleid op basis van de beschikbare gegevens voor de referentieperiode en verklaart 82% van de variatie in de data (Pearson's correlatiecoëfficiënt $r = 0.91$). Vaak wordt gebruik gemaakt van de referentieperiode en niet altijd van de scenario's, en wordt vaak gerekend zonder de neerslagduur. Omdat dit voor gewasgroeimodellering minder wenselijk is, is een regressiemodel gekalibreerd dat een betrouwbare schatting geeft van de neerslagduur voor de scenario's.

TEMPERATUUR

De minimale en maximale dagtemperaturen zijn beschikbaar voor alle scenario's en de referentieperiode 1981-2010.

GLOBALE STRALING

De globale straling is beschikbaar voor alle scenario's en de referentieperiode 1981-2010.

LUCHTVOCHTIGHEID

De luchtvochtigheid is alleen beschikbaar voor de referentieperiode 1981-2010. De luchtvochtigheid voor de klimaatscenario's is berekend op basis van de minimale en maximale temperatuur van het betreffende klimaatscenario en de luchtvochtigheid van de referentieperiode. Hiervoor zijn formules 3 en 5 uit Wesseling (1998, p.13-14) gebruikt.

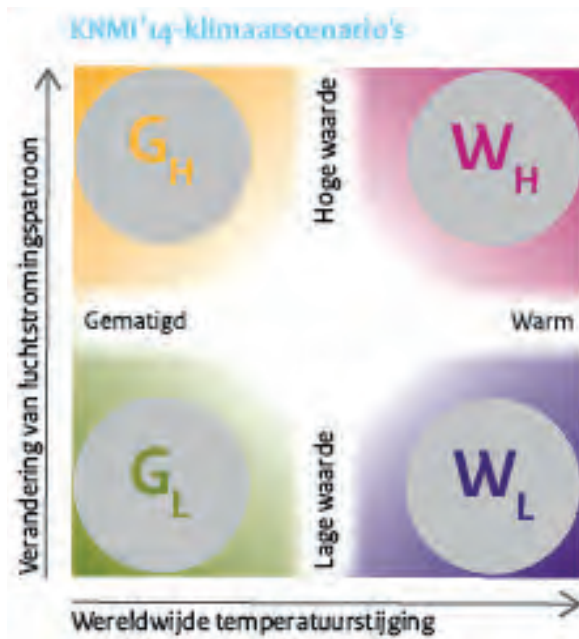
WINDSNELHEID

De windsnelheid is alleen beschikbaar voor de referentieperiode 1981-2010. Voor de klimaatscenario's is de windsnelheid van de referentieperiode gebruikt.

FIGUUR 4.4 LIGGING VAN DE VIJF KNMI-MEETSTATIONS



FIGUUR 4.5 KLIMAATSCENARIO'S VOLGENS HET KNMI (2014)



4.3.4 HYDROLOGIE

Als onderrand van SWAP-WOFOST is gebruik gemaakt van de zogenaamde $q_b(h)$ -relatie (Kroes *et al.*, 2008). Hierbij wordt aangenomen dat de verticale flux (q_b) afhankelijk is van de grondwaterstand (h) volgens:

$$q_b = A \exp(B h) + C$$

waarin: A , B , en C coëfficiënten zijn. Deze coëfficiënten worden gevarieerd overeenkomstig het bereik in Oostindie en Hendriks (2005).

A wordt gevarieerd van -10 tot 0, B van -0.10 tot -0.01 en C wordt gerelateerd aan de drainagebasis (z_d) volgens

$$C = -A \exp(B \text{abs}(z_d))$$

De drainagebasis wordt gevarieerd van 250 tot 25 cm beneden maaiveld.

4.3.5 IRRIGATIE EN ZOUT

Aangenomen wordt dat zout alleen via irrigatiewater wordt toegevoegd aan de bodem. Zoute kwel wordt niet meegenomen. Zoutconcentraties in het irrigatiewater worden gevarieerd tussen de 0 en 5 mg/cm³ (Stuyt *et al.*, 2016).

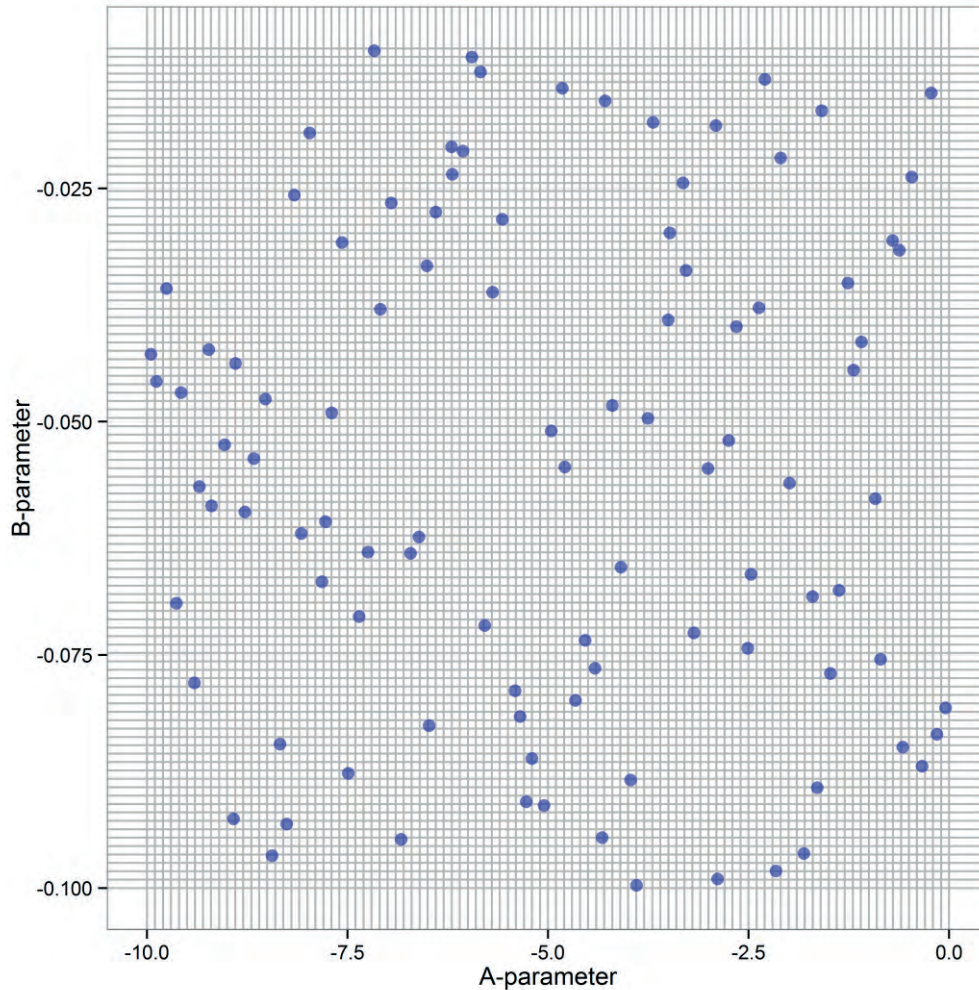
4.4 AANMAKEN VAN INVOERBESTANDEN

Op basis van de rekenrundefinities worden invoerbestanden voor SWAP-WOFOST aangemaakt. Voor alle combinaties van gewas (2x), bodemprofiel (72x), KNMI-waarnemingsstation (5x), en klimaatscenario (5x) worden 100 willekeurige parametercombinaties (A , B , C , zout) getrokken. Om te bewerkstelligen dat op efficiënte wijze uit de parameterruimte wordt getrokken wordt gebruik gemaakt van Latin Hypercube Sampling (McKay *et al.*, 1979; Walvoort, 2006).

Latin Hypercube Sampling is het eenvoudigst uit te leggen voor twee parameters (maar is eenvoudig te generaliseren naar meer dimensies). Stel dat we 100 paren van de eerder genoemde parameters A en B willen trekken. Bij Latin Hypercube Sampling wordt dan een regelmatig grid over de parameterruimte gelegd met evenveel rijen/kolommen als trekkingen. In ons geval zijn er dus 100 rijen en 100 kolommen. Vervolgens wordt in elke rij en kolom exact één trekking gedaan. Figuur 4.6 geeft een voorbeeld van een Latin Hypercube sample. We hebben de methode van Iman en Conover (1982) gebruikt om de dekking over de parameterruimte verder te optimaliseren.

In totaal is gerekend voor 2 gewassen x 72 bodemprofielen x 5 waarnemingsstations x 5 meteorologische tijdreekssets x 100 parametercombinaties. Het totale aantal runs komt dan op 360000. De totale grootte van de invoerbestanden is ca 340Gb (~ 500 CD-ROMS). Alle invoerbestanden zijn op basis van de rekenrundefinities automatisch gegenereerd. Dit waarborgt de reproduceerbaarheid van de procedure.

FIGUUR 4.6 VOORBEELD VAN EEN LATIN HYPER CUBE SAMPLE VAN 100 TREKKINGEN



4.5 REKENEN MET SWAP-WOFOST

De invoerbestanden zijn vervolgens doorgerekend met SWAP-WOFOST. Hiervoor is een rekencluster gebruikt met meer dan 100 CPU's (ter vergelijking: in een doorsnee laptop zitten 4 CPU's). Er is gerekend met SWAP-WOFOST versie 3.2.4a.

4.6 AGGREGEREN VAN DE UITVOERBESTANDEN

Na circa twee weken rekestijd heeft SWAP-WOFOST ca 1.4 Tb (~ 2000 CD-ROMS) aan relevante uitvoer berekend. Om zulke omvangrijke gegevensbestanden te kunnen verwerken zijn de resultaten opgeslagen in een speciale database. Vervolgens zijn de resultaten gecontroleerd en geaggregeerd tot gemiddelden over een periode van 30 jaar. De volgende statistieken zijn berekend:

- 1 traditionele statistieken (zoals bij HELP-tabellen en de TCGB-tabellen): gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG), gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG), en gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG);
- 2 statistieken die de verdeling van de grondwaterstand karakteriseren (de zogenaamde 'momenten'): gemiddelde, variantie, scheefheid en gepiektheid;
- 3 som overschrijdingen winterhalfjaar;
- 4 geheugen van het grondwatersysteem (eerste-orde-autocorrelatie, dat wil zeggen de correlatie van een grondwaterstand op een bepaalde dag met die op de vorige dag. Hoe groter die correlatie is, hoe meer opeenvolgende grondwaterstanden op elkaar lijken);
- 5 potentiële, actuele en exploiteerbare gewasopbrengst (Walvoort *et al.*, 2014).

De grondwaterstatistieken worden berekend voor hydrologische jaren (april-april). De eerste twee maanden van elke dertigjarige reeks worden buiten beschouwing gelaten om mogelijke effecten van de initiële randvoorwaarden van SWAP-WOFOST te reduceren.

4.7 AFLEIDEN VAN DE METAMODELLEN

Metamodellen zijn afgeleid door de gewasschade zoals berekend met SWAP-WOFOST te relateren aan het bodemtype, de gewassoort, het meteorostation, het klimaatscenario, al dan niet irrigatie, zoutconcentratie in irrigatiewater, en de genoemde grondwaterstandsstatistieken. Figuur 4.7 geeft een voorbeeld van gewasschade voor gras zoals berekend door SWAP-WOFOST voor twaalf bodemtypes als functie van de GLG en de GHG. De grootte van elke stip geeft de gemiddelde gewasschade over 30 jaar weer voor de periode 1981-2010. Tevens is op basis van gewasverdamping een onderscheid gemaakt naar punten met overwegend natschade en punten met overwegend droogteschade.

Het metamodel dat is gebruikt is een 'random forest'-model (Breiman, 2001). Bij dit metamodel wordt als het ware een heel 'bos' (*forest*) aan beslisbomen (*regression trees*) afgeleid die samen de gewasschade voorspellen (*ensemble modelling*). Dit type model staat bekend om de goede voorspelkracht. Met random forests kunnen metamodellen worden afgeleid op basis van één of meerdere grondwaterstandskenmerken zoals genoemd in de vorige paragraaf. Afhankelijk van de beschikbare grondwaterstandskenmerken worden andere metamodellen afgeleid (maatwerk). Voor de Vierlingsbeekstudie in paragraaf 10 waren bijvoorbeeld alleen de GHG en de GLG beschikbaar. Voor deze studie is daarom alleen van deze kenmerken gebruik gemaakt.

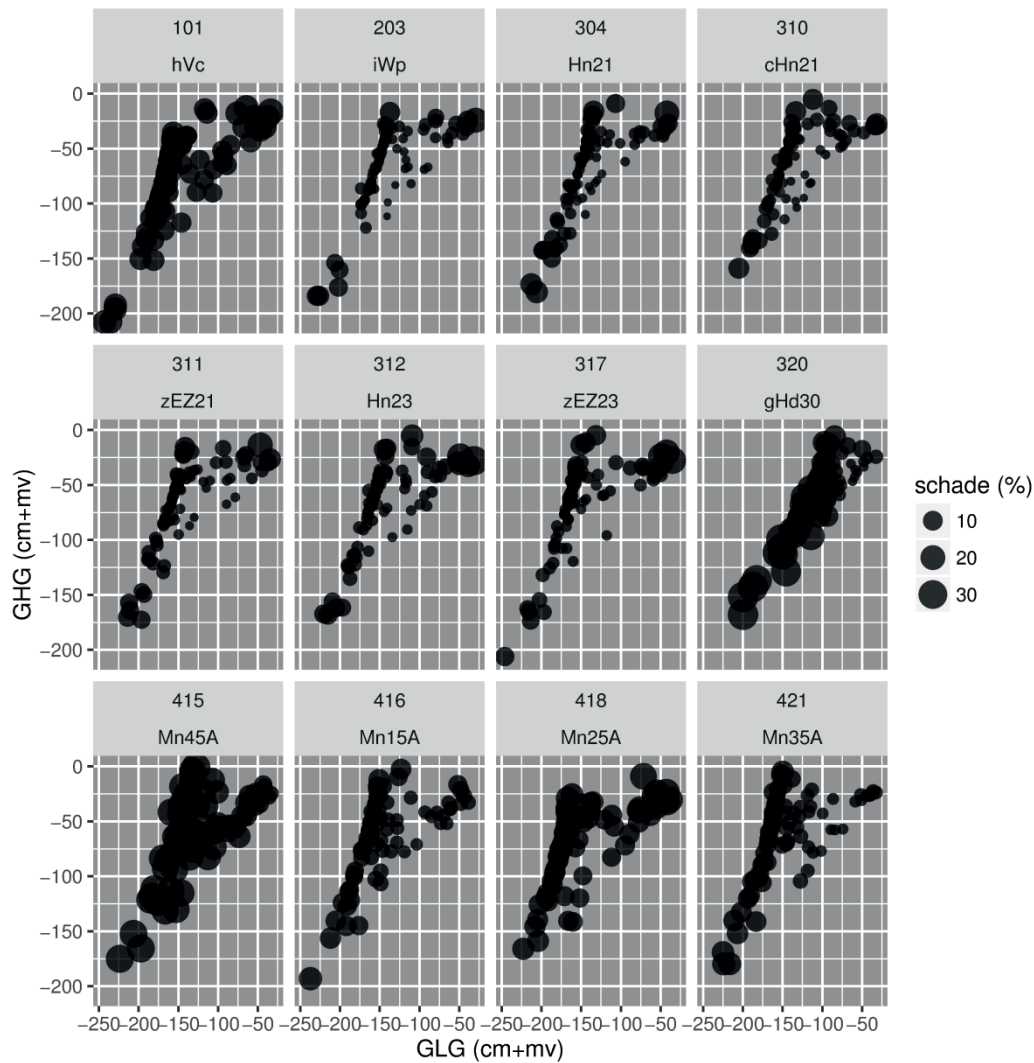
4.8 VALIDEREN VAN DE METAMODELLEN

Omdat we willen weten hoe goed de metamodellen het doen hebben we ze gevalideerd. Bij validatie wordt een model getoetst aan de hand van gegevens (in ons geval opbrengstdepresies) die *niet* zijn gebruikt bij het fitten van het model. Zouden we toetsen op basis van dezelfde gegevens waarmee we het model ook hebben gefit dan zouden we een te rooskleurig beeld krijgen van de modelprestatie. Met validatie kun je beoordelen hoe goed een (meta)model presteert in nieuwe situaties (nieuwe gegevens).

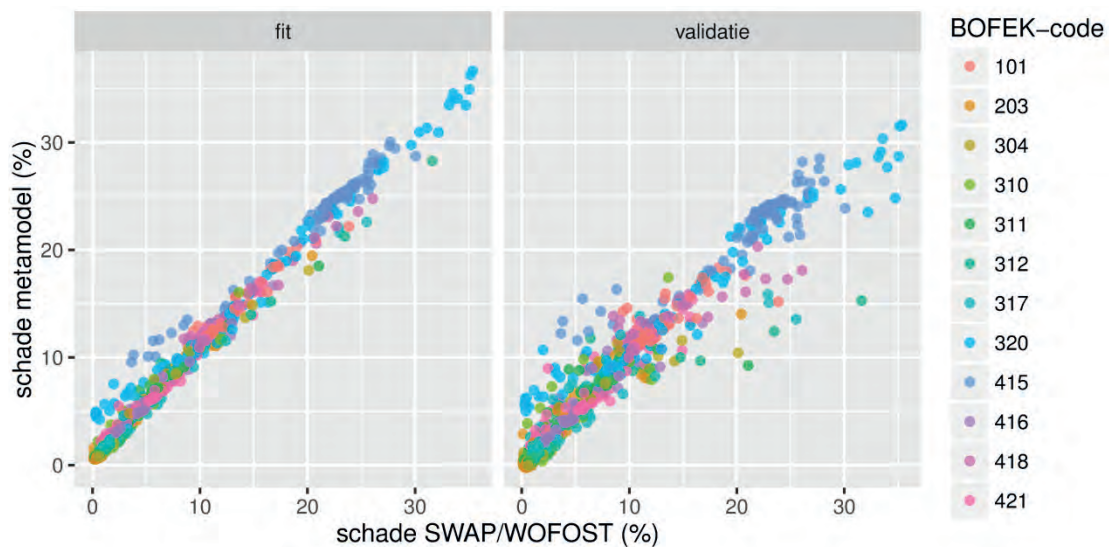
Validatie laat zien hoe goed een metamodel SWAP-WOFOST kan nabootsen. De validatie zegt dus niets over hoe goed het metamodel de werkelijke gewasschade kan berekenen. Dat hangt af van de modelprestatie van SWAP-WOFOST. Als het metamodel SWAP-WOFOST goed kan nabootsen en SWAP-WOFOST de werkelijkheid goed beschrijft zal het metamodel de werkelijkheid ook goed beschrijven.

In Figuur 4.7 zijn de gewasschades zoals berekend met het metamodel uitgezet tegen de schades zoals berekend met SWAP-WOFOST. De linker figuur doet dat op basis van gegevens die ook al bij het fitten van het metamodel zijn gebruikt. De rechter figuur is interessanter. Die geeft deze relatie op basis van nieuwe gegevens die niet bij het fitten zijn gebruikt. In vergelijking met de linker figuur is er dan, zoals verwacht, wat meer spreiding. Het metamodel blijkt SWAP/WOFOST echter heel goed na te bootsen. Het percentage verklaarde variantie bij de validatie is 94% (Pearson's correlatiecoëfficiënt $r=0.97$. N.B.: 0 = geen lineaire samenhang, 1 = 100 % lineaire samenhang).

FIGUUR 4.7 VOORBEELD VAN DE GEMIDDELDE RELatieve GEWASSCHADE (%) VOOR GRAS ZOALS BEREKEND MET SWAP/WOFOST VOOR TWAALF BODEMTYPES (ZIE KOPJE BOVEN ELKE FIGUUR WAAR ZOWEL DE BOFEK-CODE ALS DE CODE VAN DE BODEMKAART 1 : 50 000 IS GEGEVEN) ALS FUNCTIE VAN DE GLG (X-AS) EN DE GHG (Y-AS) VOOR DE REFERENTIEPERIODE 1981-2010. DE GROOTTE VAN EEN STIP IS EVENREDIG MET DE RELatieve SCHADE.



FIGUUR 4.8 GEWASSCHADE BEREKEND MET HET METAMODEL (Y-AS) OP BASIS VAN GHG, GLG EN BODEMTYPE VERSUS DIE BEREKEND MET SWAP-WOFOST (X-AS) OP BASIS VAN DE FIT (LINKS) EN OP BASIS VAN VALIDATIE (RECHTS)



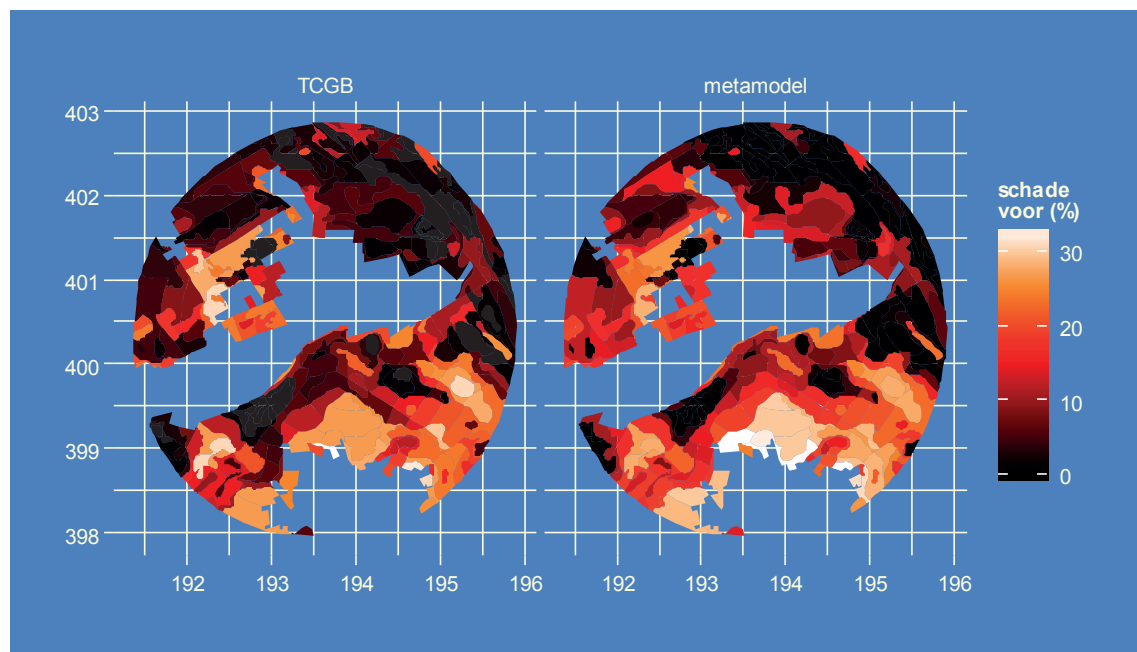
4.9 TOEPASSEN VAN DE METAMODELLEN

In de Vierlingsbeekstudie (Massop *et al.*, 2014) is de gewasschade berekend op basis van TCGB-tabellen vóór en ná het starten van een wateronttrekking. In deze paragraaf beschrijven we de toepassing van Waterwijzer Landbouw metamodellen om deze gewasschade te voorspellen. Deze zullen we vervolgens vergelijken met de resultaten op basis van de TCGB-tabellen, zoals beschreven in Massop *et al.* (2014).

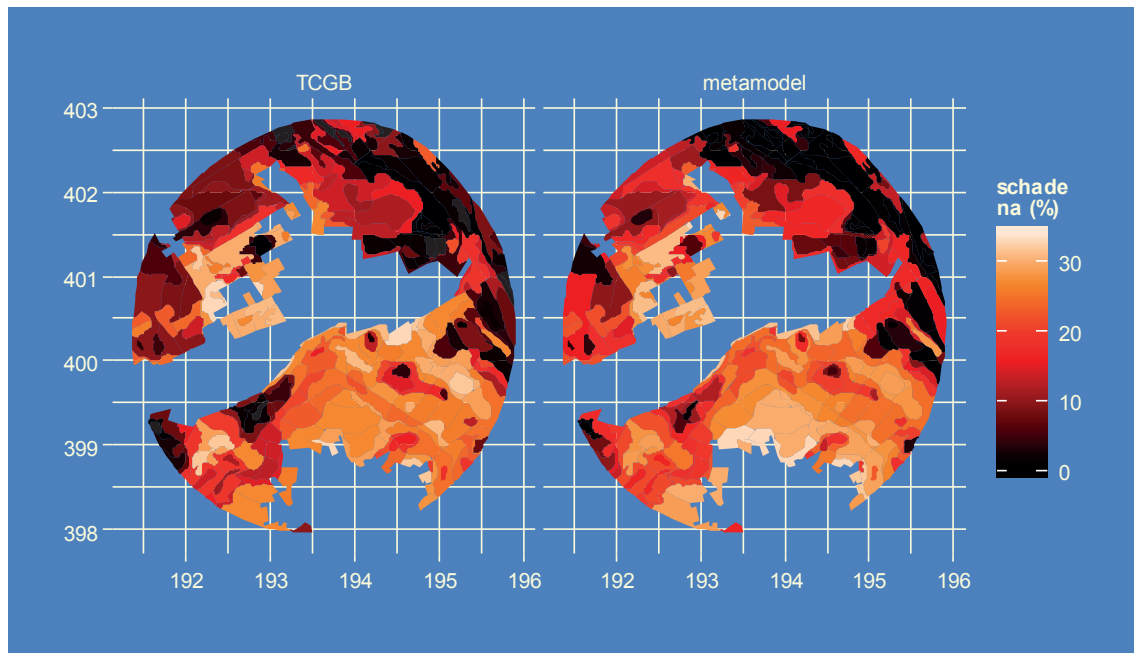
Bij het vergelijken van de resultaten moeten we ons echter realiseren dat in Massop *et al.* (2014) gerekend is met een andere bodemschematisering. Deze is veel gedetailleerder dan die van de landelijke BOFEK2012-schematisering die voor de metamodellen is gebruikt. Daarnaast zijn voor de TCGB-tabellen natuurlijk andere weerreeksen gebruikt, een andere rekenperiode en een ander procesmodel (LAMOS in plaats van SWAP-WOFOST). Toch zetten we de resultaten naast elkaar om een indruk te krijgen van de verandering die door Waterwijzer Landbouw zal worden geïntroduceerd.

Figuur 4.9 geeft de relatieve gewasschade op basis van de TCGB-tabellen en op basis van metamodellen vóór de start van de wateronttrekking. De gewasschade is berekend als het verschil tussen de potentiële en actuele gewasopbrengst uitgedrukt als percentage van de potentiële gewasopbrengst. Figuur 4.9 geeft de relatieve gewasschade voor de start van de wateronttrekking, en Figuur 4.10 geeft de toename van de relatieve gewasschade na de start van de wateronttrekking. Zoals verwacht zijn er verschillen tussen de TCGB-tabellen en de metamodellen om de redenen die hierboven zijn genoemd. Desalniettemin valt vooral op dat er veel overeenkomsten zijn, zeker ook in de ruimtelijke patronen. De resultaten werden door de eindgebruiker beoordeeld als bruikbaar en niet al te afwijkend van de verwachtingen die men vooraf al had van de veranderingen.

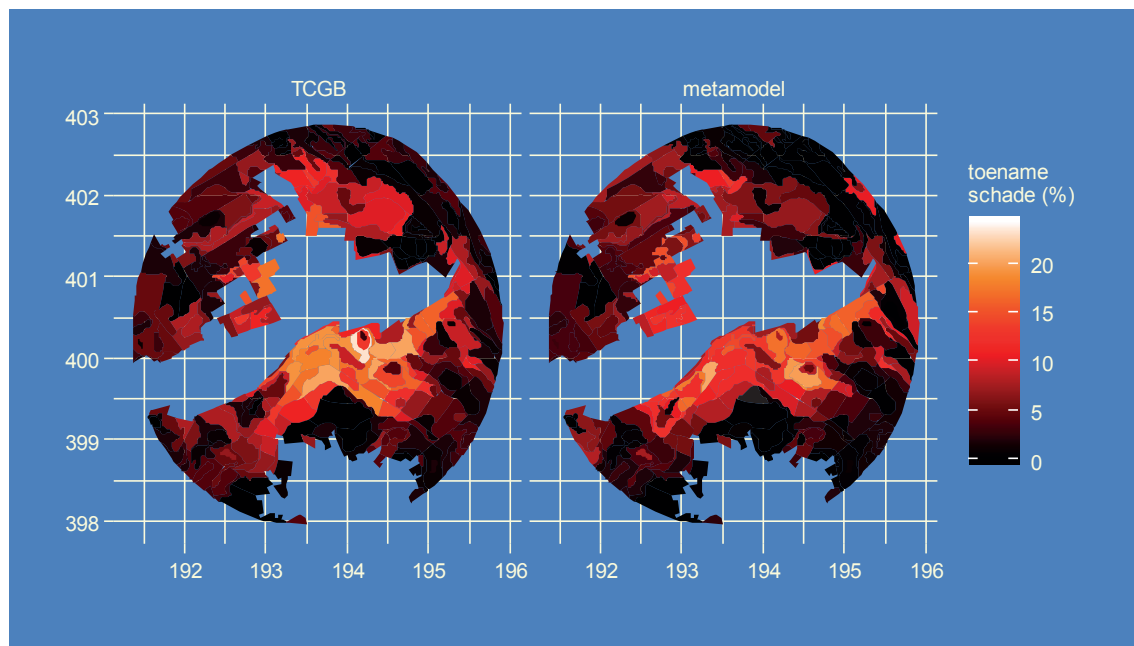
FIGUUR 4.9 RELATIEVE GEWASSCHADE (GRAS, %) VOOR DE START VAN DE WATERONTTREKKING. LINKS OP BASIS VAN DE TCGB-TABELLEN (MASSOP ET AL., 2014), RECHTS OP BASIS VAN METAMODELLEN



FIGUUR 4.10 RELATIEVE GEWASSCHADE (GRAS, %) NA DE START VAN DE WATERONTTREKKING. LINKS OP BASIS VAN DE TCGB-TABELLEN (MASSOP ET AL., 2014), RECHTS OP BASIS VAN METAMODELLEN



FIGUUR 4.11 TOENAME VAN DE RELATIEVE GEWASSCHADE (GRAS, IN PROCENTPUNTEN) DOOR DE WATERONTTREKKING. LINKS OP BASIS VAN DE TCGB-TABELLEN (MASSOP ET AL., 2014), RECHTS OP BASIS VAN METAMODELLEN



4.10 HOE GAAN DE METAMODELLEN ER UITZIEN?

Zoals beschreven in paragraaf 4.1 zijn de metamodellen veel eenvoudiger dan het uitgangsmodel SWAP-WOFOST. Desalniettemin is toch enige specialistische kennis vereist om ze te kunnen toepassen. Het gaat daarbij vooral om de wijze van koppeling met de invoergegevens en de interpretatie van de modelresultaten.

Om het gebruiksgemak van de metamodellen sterk te verhogen wordt in 2017 in fase 4 van de ontwikkeling van Waterwijzer Landbouw een eenvoudige *software-tool* gemaakt waarmee het

toepassen van de metamodellen wordt geautomatiseerd. Als invoer heeft deze *tool* een tekstbestand nodig met daarin een tabel. Elke rij in die tabel heeft betrekking op een specifieke situatie die moet worden doorgerekend. Denk daarbij aan een landbouwperceel, een regio, of een schadevlak. Elke kolom geeft een kenmerk van die situatie weer, zoals het gewas, het bodemtype, het bijbehorende meteorologisch station, het klimaatscenario, en één of meerdere grondwaterstandskarakteristieken. Deze tabel is eenvoudig aan te maken in bijvoorbeeld een geografisch informatiesysteem (GIS) of een spreadsheetprogramma (MS-Excel). Nadat de *tool* gestart is zal deze de invoergegevens in deze tabel controleren. Daarna worden de gewaschades berekend en weggeschreven. Een dergelijke *tool* is eenvoudig te bedienen en kan ook gekoppeld worden met bestaande infrastructuur voor het berekenen van gewaschades.

De *tool* kan het beste worden vergeleken met een aantal grote opzoektabelen met schadepercentages die op basis van de metamodellen worden gevuld. In dat opzicht verschilt deze *tool* niet van de HELP- en TCGB-tabellen, met dat verschil dat de nieuwe tabellen omvangrijker zijn, meer mogelijkheden bieden zoals bijvoorbeeld in situaties waarbij grote gebieden moeten worden doorgerekend, en reproduceerbaar zijn. Figuur 4.12 illustreert de opzoektabelen met schadepercentages die op basis van de metamodellen worden gevuld.

FIGUUR 4.12

ILLUSTRATIEF VOORBEELD VAN DE OPZOEKTABELLEN MET SCHADEPERCENTAGES DIE OP BASIS VAN DE METAMODELLEN WORDEN GEVULD

schade: 'droog'; bodem: '72'; gewas: 'maïs'; meteo: 'Eelde'; scenario: 'huidig klimaat';...							
GHG	10	20	30	40	50	60	
schade: 'nat'; bodem: '3'; gewas: 'gras'; meteo: 'de Bilt'; scenario: 'huidig klimaat';...							
GHG	10	20	30	40	50	60	
schade: 'nat'; bodem: '2'; gewas: 'gras'; meteo: 'de Bilt'; scenario: 'huidig klimaat';...							
GHG	10	20	30	40	50	60	
schade: 'nat'; bodem: '1'; gewas: 'gras'; meteo: 'de Bilt'; scenario: 'huidig klimaat';...							
GLG	GHG	10	20	30	40	50	60
40		60					
50		44	34				..
60		29	21	15			
70		18	13	8	3		
80		15	8	4	1		...
90		15	7	3	1	0	
	

Dergelijke tabellen zullen beschikbaar zijn voor langjarig gemiddelde schadepercentages, maar ook voor specifieke droogtejaren (een x% droog jaar). Deze worden in een later stadium in het project bepaald.

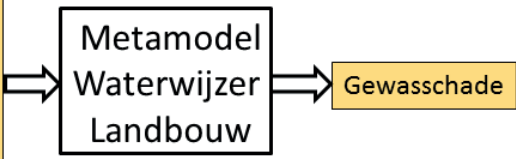
Figuur 4.13 geeft schematisch het verschil tussen SWAP-WOFOST en het metamodel Waterwijzer Landbouw weer voor wat betreft de benodigde invoer en gegenereerde uitvoer.

De reductie in benodigde invoer is verkregen door een *random-forest*-model te kalibreren op gewasschade die met SWAP-WOFOST is berekend.

FIGUUR 4.13 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN BENODIGDE INVOER EN GEGENEREERDE UITVOER BIJ HET MODEL SWAP-WOFOST EN HET METAMODEL WATERWIJZER LANDBOUW



- Bodemtype
- Gewassoort
- Meteostation
- Klimaatscenario
- Irrigatie ja/nee
- Zoutconcentratie in irrigatiewater
- Grondwaterstandsstatistieken (GxG's)



4.11 CONCLUSIES

In het kader van Waterwijzer Landbouw zijn metamodelen voor gras en maïs afgeleid om opbrengstreducties te kunnen voorspellen. De metamodelen zijn op reproduceerbare wijze afgeleid omdat, in tegenstelling tot de TCGB-tabellen, alle modelcode en invoergegevens netjes zijn vastgelegd. Als het uitgangsmodel (SWAP-WOFOST) wordt aangepast, of wanneer betere gegevensbestanden beschikbaar komen kunnen de metamodelen op efficiënte wijze worden geüpdatet. Dit is mogelijk omdat het hele proces op basis waarvan de metamodelen zijn afgeleid is vastgelegd in rekschrijfs.

Validatie (met onafhankelijke gegevens, paragraaf 4.8) laat zien dat de metamodelen het uitgangsmodel SWAP-WOFOST goed nabootsen. De metamodelen mogen daarom in plaats van SWAP-WOFOST worden gebruikt om gewasschade te simuleren.

In een volgend stadium zullen we voor grasland en snijmais ook de indirecte effecten vaststellen die bij deze metarelaties horen. Pas als deze beschikbaar zijn kunnen de resultaten gebruikt worden ter vervanging van de oude HELP- en TCGB-tabellen.

4.12 AANBEVELINGEN

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

- ontsluiten van de metamodellen via een eenvoudige gebruikersinterface, i.c. de *tool* die in paragraaf 4.10 wordt besproken;
- afleiden van metamodellen voor andere gewassen of gewasgroepen.

Deze aanbevelingen zullen aandacht krijgen in fase 4 van het project Waterwijzer Landbouw.

5

ONDERWATERDRAINS IN WATERWIJZER LANDBOUW

5.1 INLEIDING

5.1.1 AANLEIDING

De ontwikkelingen binnen Waterwijzer Landbouw zoals die in de voorgaande hoofdstukken zijn geschetst hebben tot een extra vraag geleid van de provincie Utrecht. Die betreft het toepasbaar maken van Waterwijzer Landbouw voor het berekenen van de effecten van onderwaterdrainage op de reductie van gewasproductie door natschade en droogteschade voor de specifieke omstandigheden van de veenweiden in Utrecht en Zuid-Holland.

De provincie Utrecht wil haar beleid ten aanzien van bodemdaling in het veenweidegebied versterken. Daartoe heeft de provincie samen met Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) en de provincie Zuid-Holland de “Toekomstverkenning bodemdaling” uitgevoerd (Van Hardeveld *et al.*, 2014). Hierin is een Maatschappelijke Kosten Baten Analyse uitgevoerd op een aantal toekomstscenario's doorgerekend voor het gebied van HDSR. In één van die toekomstscenario's nam de toepassing van onderwaterdrainage een belangrijke plaats in. Naast deze toekomstverkenning is de provincie Utrecht bezig in de praktijk te onderzoeken of onderwaterdrainage een perspectief kan bieden om bodemdaling te beperken en kan worden ingepast in de landbouwpraktijk.

Op verzoek van de provincie Utrecht is dit hoofdstuk onderdeel geworden van de totale rapportage over fase 3 van Waterwijzer Landbouw.

5.1.2 ACHTERGROND

Onderwaterdrainage bestaat uit drainbuizen die permanent onder slootpeil en op relatief korte afstand (4-6 m) van elkaar liggen. Het primaire doel van onderwaterdrainage is om de maaiveldddaling door veenafbraak te verminderen. In droge tijden bevorderen onderwaterdrains de infiltratie van slootwater in het veenweideperceel substantieel. De grondwaterstanden zakken daardoor minder diep uit. Hoge grondwaterstanden – vooral in droge, warme perioden - remmen de veenafbraak en daardoor de maaiveldddaling sterk. In de praktijk blijkt een ruime halvering mogelijk van de snelheid waarmee het maaiveld daalt.

Onderwaterdrainage heeft voordelen voor het landbouwkundig gebruik. De toename van de infiltratie in droge tijden kan droogteschade aan het gewas verminderen. Daarnaast bevorderen de drains de afvoer van overtollig neerslagwater in natte tijden, zodat natschade aan het gewas beperkt kan blijven. Ook kan onderwaterdrainage nadelige indirecte effecten als ongeschiktheid voor berijding en matige beschikbaarheid van meststoffen voor het gewas verminderen.

De hier genoemde en andere kennis uit veld- en modelonderzoek over toepassen en effecten van onderwaterdrainage is samengevat in de STOWA-Deltafact Onderwaterdrains.

5.2 AANPAK

Om Waterwijzer Landbouw toepasbaar te maken voor de combinatie van veenweiden en onderwaterdrainage is een aanpak nodig die afwijkt van de reguliere aanpak zoals beschreven in hoofdstuk 4. Het gaat daarbij om een methodologische afwijking en afwijkingen die samenhangen met hoe de werking van onderwaterdrains in de Utrechtse veenweiden realistisch kan worden gemodelleerd met SWAP-WOFOST en de daarvan afgeleide metamodellen.

AFWIJKENDE AANPAK

De methodologische afwijking is dat alle situaties – combinaties van bodem, hydrologie en weer - paarsgewijs worden doorgerekend: zónder en mét onderwaterdrainage. Alleen vergelijken binnen een paar kan effecten van onderwaterdrainage in een bepaalde situatie duidelijk maken.

Afwijkingen in de modellering zijn:

- 1 de beschrijving van de hydrologische 'setting', de manier waarop de hydrologische randvoorwaarden de waterhuishouding van het veenweideperceel sturen;
- 2 de bodemkenmerken die het hydrologische gedrag van de veenweidepercelen bepalen.

Voor beide aspecten is gebruik gemaakt van de hydrologische modellering met SWAP in modelonderzoek 'Effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in veenweiden' (Hendriks en Van den Akker, 2012). Dit onderzoek naar de gevolgen van onderwaterdrainage voor de nutriëntenuitspoeling naar het oppervlaktewater beperkte zich tot de veenweiden in West-Nederland. Voor een realistische modellering van de uitspoeling is een juiste modellering van de hydrologie een vereiste, zeker bij onderwaterdrainage die de waterhuishouding van het veenweideperceel sterk beïnvloedt. Voor deze modellering zijn op basis van alle beschikbare kennis 'veenweide-eenheden' gedefinieerd. Hiervan is gebruik gemaakt in 'Waterwijzer Landbouw onderwaterdrainage'.

1. HYDROLOGISCHE RANDVOORWAARDEN

Figuur 5.1 geeft schematisch het belang van de randvoorwaarden voor de hydrologie van een veenweideperceel weer. De bovenrand in de vorm van neerslag en verdamping is de aandrijver van de hydrologische processen in de veenbodem en is afhankelijk van weer en klimaat. De zijrand als drainage naar en infiltratie uit de sloot kan worden gestuurd door peilbeheer dat in veenweidepolders altijd plaatsvindt. De onderrand als kwel uit of wegzijging naar diepere watervoerende lagen is in deze schematisering een kenmerk van een 'veenweide-eenheid'. Onderwaterdrainage vergroot het belang van de zijrand door het bewerkstelligen van een kortsluiting tussen het veenbodemwater midden in het perceel en het slootwater. Daarmee beïnvloedt onderwaterdrainage ook de grootte van de onderrand.

In de reguliere Waterwijzer Landbouw zijn zijrand en onderrand samen opgenomen in een relatie voor de onderrand (zie paragraaf 4.3.4 Hydrologie). Deze impliciete benadering van de zijrand maakt peilbeheer moeilijk zichtbaar en maakt vergelijken van berekeningen zónder en mét onderwaterdrainage bij eenzelfde peilbeheer en onderrand onmogelijk. Voor het optimaliseren van zijn waterbeheer wil een waterbeheerder weten wat het effect van onderwaterdrainage is bij een bepaald slootpeil (drooglegging), gegeven een bepaalde onderrand. Hij

wil ook weten wat dat beheer betekent als de onderrand verandert. Veenweiden liggen in een dynamisch landschap: daling van het maaiveld maakt peilverlaging voor handhaven van de drooglegging nodig waardoor kwel toeneemt of wegzijging afneemt. Onderwaterdrainage verandert deze dynamiek. Voor een goed begrip van de effecten van onderwaterdrainage moeten zijrand en onderrand daarom expliciet worden gemodelleerd en daarbij onafhankelijk van elkaar kunnen worden gevarieerd.

Deze benadering was ook het verzoek van de provincie Utrecht. De expliciete zijrand is daarom gemodelleerd met drie of vier drainageniveaus: oppervlakte-afstroming, ondiepe uitstroming (*interflow*) en slootdrainage en -infiltratie, en in de variant met onderwaterdrainage ook drainage en infiltratie met drains die 6 m van elkaar en 15 cm onder slootpeil liggen. De doorgerekende droogleggingen varieerden tussen 20 en 70 cm. Gedurende de gehele modelrun waren het slootpeil en dus de drooglegging constant. Een variant daarop was het instellen van een 10 cm hoger, constant zomerpeil in de periode van 1 april tot 1 oktober. Dit is uitgevoerd voor een aantal droogtegevoelige combinaties van bodemeenheid en onderrand bij een drooglegging tussen 30 en 60 cm (zie paragraaf 5.3.2).

FIGUUR 5.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN VEENWEIDESYSTEEM MET CENTRAAL HET VEENWEIDEPROFIEL DAT WORDT GEKENMERKT DOOR TYPISCHE WAARDEN VAN FYSISCHE GROOTHEDEN EN DAT AAN ONDER- EN ZIJRANDEN IS INGEBED IN EEN HYDROLOGISCHE SETTING EN AAN DE BOVENRAND IS BEGRENSD DOOR DE ATMOSFEER (NAAR: HENDRIKS EN VAN DER AKKER, 2012)



Voor de onderrand wilde de provincie Utrecht een jaargemiddelde kwel-/wegzijgingsflux als variabele in de modellen; waterbeheerders kunnen zich een voorstelling maken bij een waarde van deze grootheid. Onderwaterdrainage verandert echter de grondwaterstand en daarmee de onderrandflux. Voor een goede vergelijking tussen zónder en mét onderwaterdrainage is het beter om met een onderrand te modelleren die wordt berekend uit het verschil tussen grondwaterstand en stijghoogte in het diepe grondwater met een weerstand

voor verticale stroming. Deze twee benaderingen zijn in elkaar geschoven door uit een in te voeren jaargemiddelde onderrandflux een stijghoogte te berekenen met een sinusvormig verloop gedurende het jaar en een weerstand voor verticale stroming zoals beschreven in Bijlage 2. De in te voeren jaargemiddelde onderrandflux heeft een bereik van tussen -2,5 en 1,8 mm per dag (negatief is wegzijging, positief kwel) en geldt voor de situatie zónder onderwaterdrainage met een drooglegging van 50 cm.

2. BODEMKENMERKEN

Uit de modelstudie van Hendriks en Van den Akker (2012) zijn vier bodemeenheden genomen die de provincie Utrecht en een groot deel van de provincie Zuid-Holland kunnen beschrijven. Deze bodemeenheden worden gekenmerkt door veensoort, veendikte en het voorkomen van een 30 cm dik kleidekje. De veensoort is altijd eutroof (incl. mesotroof), de veendikte is 2,5 m of 5 m, en het voorkomen van het kleidekje is niet of wel. Dit geeft in totaal vier combinaties. De hydraulische en bodemfysische invoer, die SWAP nodig heeft om te rekenen, zijn van deze eenheden overgenomen. Dit geldt ook voor de drainage- en infiltratieweerstanden die verschillen per eenheid. De weerstanden voor de onderwaterdrainage zijn overgenomen uit de gekalibreerde waarden uit de twee 'pilots onderwaterdrains Utrecht' (Hendriks *et al.*, 2013) en bedragen 48 dagen voor drainage en 55 dagen voor infiltratie.

REGULIERE AANPAK

Voor de overige methoden en gegevensinvoer is dezelfde aanpak gebruikt als voor de berekeningen voor Waterwijzer Landbouw. Daaronder vallen ook de invoergegevens voor de modellering van de gewasproductie met WOFOST.

5.3 RESULTATEN

De resultaten worden besproken als de resultaten van de SWAP-WOFOST-modellering (paragraaf 5.3.1) en de validatie van de metamodellen die zijn afgeleid uit deze resultaten (paragraaf 5.3.2). In beide besprekingen wordt onderscheid gemaakt tussen de modellering met een constant peil en de modellering met een zomerpeil. De nadruk ligt hierbij op de modellering van de gewasopbrengst en effecten van onderwaterdrainage op de opbrengstderiving als gevolg van nat- en droogteschade. Ook wordt een indruk gegeven van de effecten van onderwaterdrainage op de maaivelddaling.

5.3.1 SWAP-WOFOST-MODELLERING

CONSTANT PEIL

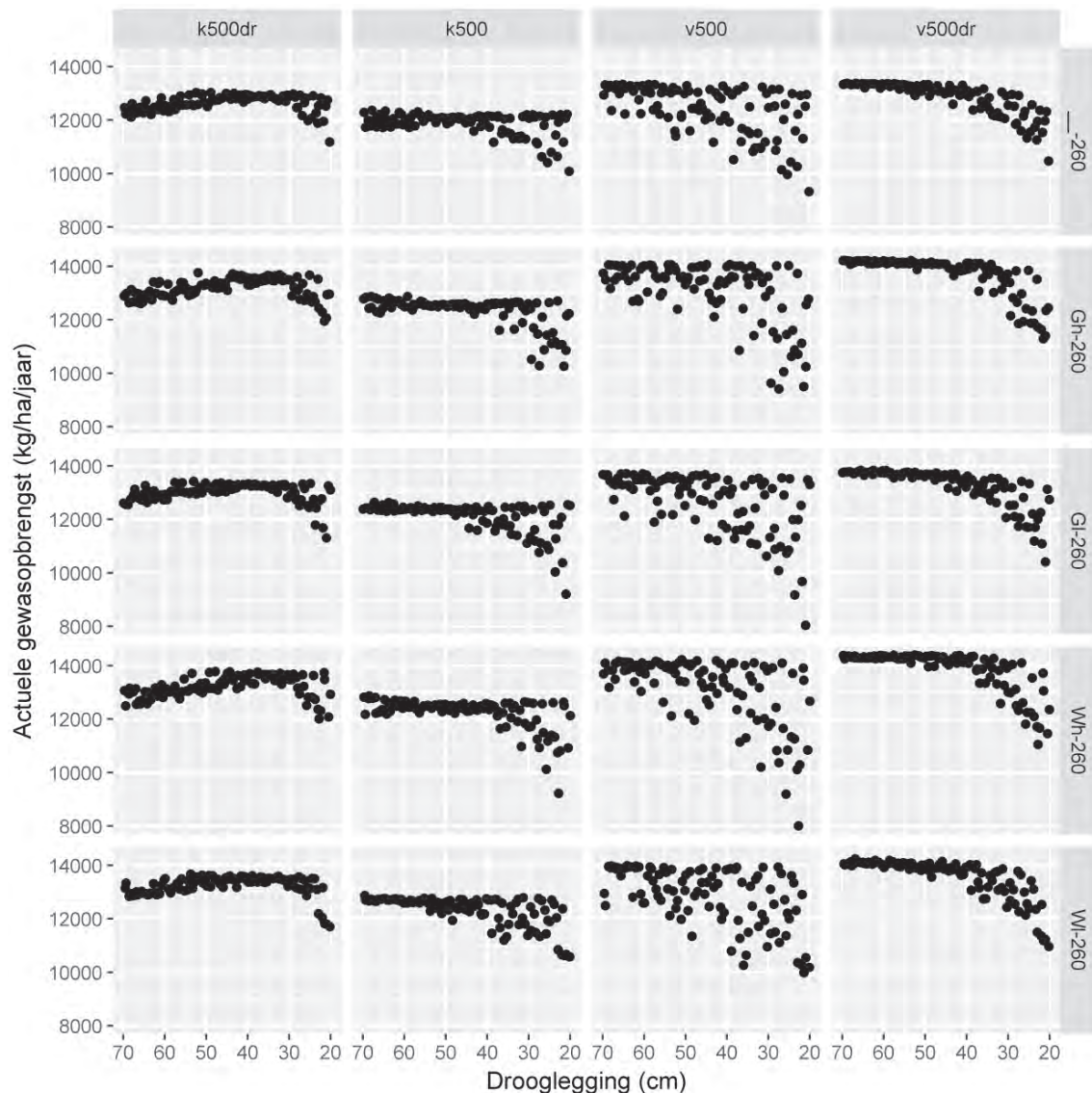
Figuur 5.2 toont de modelresultaten van de actuele grasopbrengsten als functie van de drooglegging voor de modelleringen zonder onderwaterdrainage van bodemeenheden v500 (5 m dik veen zonder kleidek) en k500 (5 m dik veen met een kleidekje) en voor beide bodemeenheden met onderwaterdrainage (v500dr en k500dr). De resultaten van alle vijf klimaatscenario's zijn getoond: huidig klimaat (weerjaren 1981-2010) en de vier KNMI-klimaatscenario's (op basis van de weerjaren 1981-2010; zie paragraaf 4.3.3).

De orde van grootte van de gemodelleerde grasopbrengst in de situatie zonder onderwaterdrainage valt binnen de grenzen uit de praktijk van 10-14 ton per ha per jaar (pers. comm. Idse Hoving). De opbrengsten van k500 met kleidekje blijven ongeveer 1 ton achter bij die van v500 zonder kleidekje. De spreiding in opbrengsten is het grootst voor v500 onder de natste omstandigheden, dat is bij de geringste droogleggingen kleiner dan 40 cm (peilen ondieper

dan -40 cm). Bij k500 met kleidekje is de spreiding veel geringer en zijn de opbrengsten ook bij de kleinere droogleggingen gelijkmatiger.

Bij de toekomstscenario's van het klimaat is dit algemene beeld hetzelfde maar neemt de actuele opbrengst toe, tot een langjarig gemiddelde van maximaal (zonder drains en kleidekje) en ruim (met drains zonder kleidekje) 14 ton per ha per jaar bij het Wl en vooral Wh scenario (zie figuur 4.5). Blijkbaar zijn de weersomstandigheden voor gewasgroei dan het gunstigst. Bij k500 met kleidekje is deze toename belangrijk (de helft) minder.

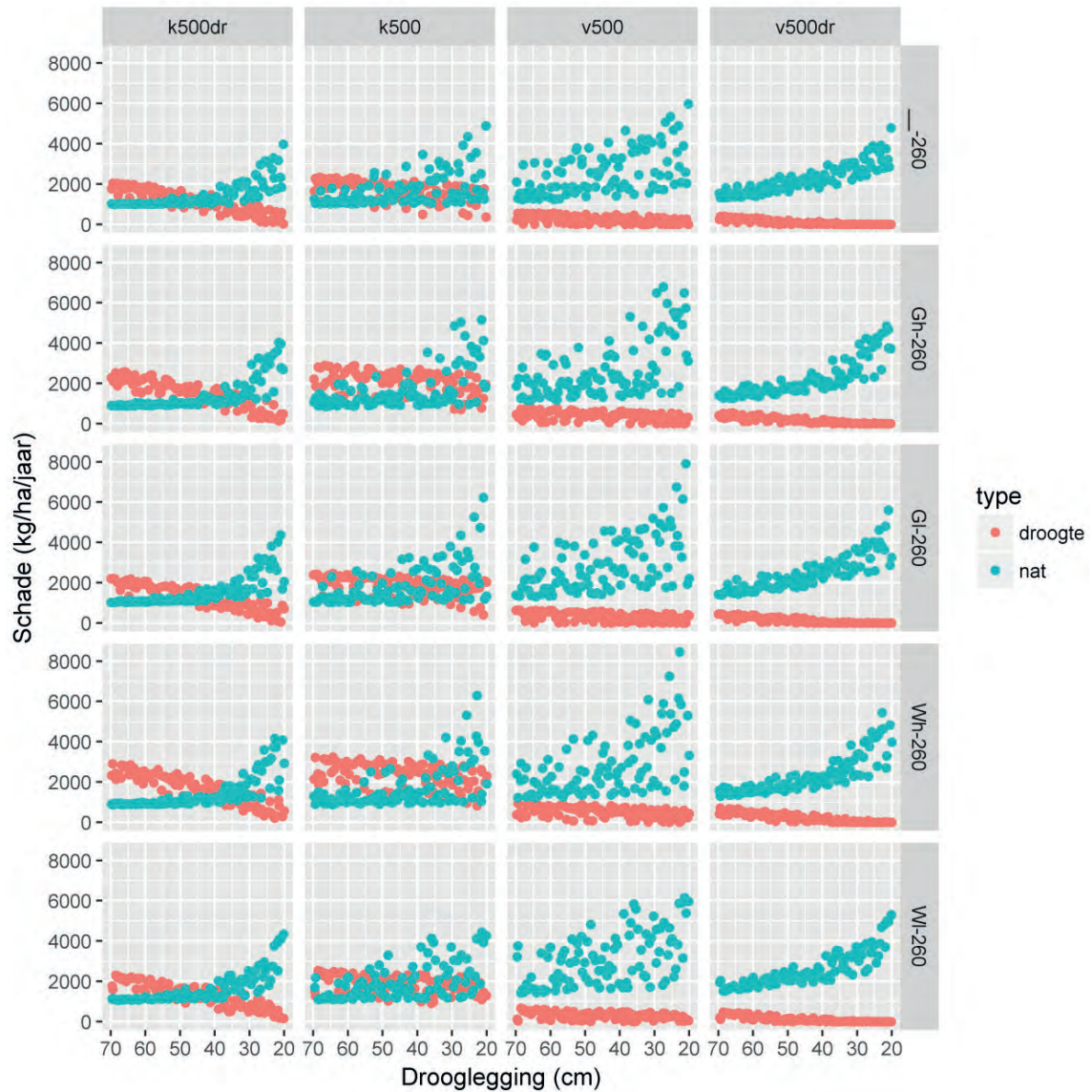
FIGUUR 5.2 MET SWAP-WOFOST GEMODELLEERDE 30-JARIGGEMIDDELTE ACTUELE GRASOPBRENGST (KG PER HA PER JAAR) VOOR BODEMEENHEID '5 M DIK VEEN' UITGEZET TEGEN DE DROOGLEGGING (CM) EN VERGELEKEN VOOR WEL (K500) EN GEEN (V500) KLEIDEKJE, EN ZONDER EN MET ONDERWATERDRAINAGE (DR) VOOR ALLE REKENRUNS IN HET HUIDIGE KLIMAAT (-260) EN DE VIER KNMI-KLIEMAATSCENARIO'S GH, GL, WH, WL (ZIE FIGUUR 4.5). DE HONDERD PUNTJES IN ELK FIGUUR ZIJN UNIEKE COMBINATIES VAN PEIL (DROOGLEGGING) EN ONDERRANDFLUX (KWEL/WEGZIJJINGSINTENSITEIT).



Bij alle klimaatscenario's zijn de opbrengsten groter bij de modellering met onderwaterdrainage. Onderwaterdrainage heeft in de modellering een positief effect op de grasopbrengst. Onderwaterdrainage vlakkt ook de verschillen tussen de droogleggingen af: de puntenwolken van de opbrengst als functie van de drooglegging zijn meer lijnvormig en lopen vlakker dan

in de situatie zonder drains. Dit geldt vooral voor de geringere droogleggingen. Bij de grotere droogleggingen zijn de verschillen veel geringer. Dit geeft aan dat SWAP-WOFOST minder droogteschade berekent dan natschade.

FIGUUR 5.3 MET SWAP-WOFOST GEMODELLEERDE 30-JARIGGEMIDDELTE ACTUELE GRASOPBRENGSTDERIVING (KG PER HA PER JAAR) DOOR DROOGTE- EN DOOR NATSCHADE VOOR BODEMEENHEDEN '5 M DIK VEEN' UITGEZET TEGEN DE DROOGLEGGING (CM) EN VERGELEKEN VOOR WEL (K500) EN GEEN (V500) KLEIDEKJE, EN VOOR ZONDER EN MET ONDERWATERDRAINAGE (DR) VOOR ALLE REKENRUNS IN HET HUIDIGE KLIMAAT (-260) EN DE VIER KNMI-KLIMAATSCENARIO'S GH, GL, WH, WL (ZIE FIGUUR 4.5). DE HONDERD PUNTJES IN ELK FIGUUR PER KLEUR ZIJN UNIEKE COMBINATIES VAN DROOGLEGGING EN ONDERRANDFLUX (KWEL/WEGZIJJINGSINTENSITEIT).

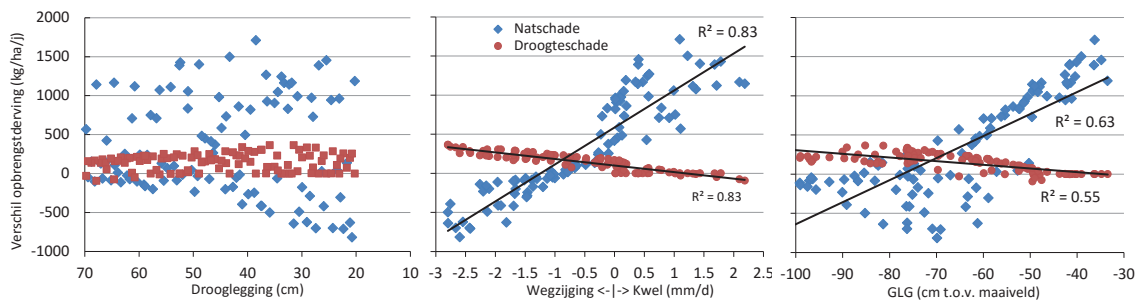


De gemodelleerde langjarige opbrengstderivingen in figuur 5.3 maken dit beeld nog duidelijker. Het is niet helemaal duidelijk of dit beeld overeenkomt met de praktijk omdat daarin ook de hydrology-afhankelijke variatie in stikstofaanbod door veenmineralisatie en benutting van meststoffen een belangrijke rol spelen die niet in het model worden meegenomen. In het algemeen is de verwachting uit de praktijk een maximale opbrengstderiving van ongeveer 2 ton per ha per jaar door natschade en van maximaal 4 ton per ha per jaar door droogteschade (pers. comm. Idse Hoving). De maxima zullen echter gelden voor extreme jaren terwijl de berekeningen de resultaten zijn als 30-jariggemiddelden.

Figuur 5.3 laat zien dat zonder onderwaterdrainage de maximale 30-jarig gemiddelde opbrengstderving in het huidige klimaat voorkomt bij een drooglegging van 20 cm en dan 6 ton per ha per jaar bedraagt. Dit is de situatie met de grootste kwel bij deze kleinste drooglegging. Bij k500 met kleidekje is de natschade wat kleiner maar de droogteschade belangrijk groter dan bij v500 zonder kleidekje. De totale schade is daardoor groter en de opbrengst minder bij het kleidekje. In de klimaatscenario's zijn de opbrengstdervingen over het algemeen wat groter.

Bij onderwaterdrainage worden de opbrengstdervingen teruggebracht naar maximaal 4 ton per ha per jaar bij huidig klimaat. Dit is vooral het gevolg van verminderen van de natschade bij de geringere droogleggingen, hoewel onderwaterdrainage ook bij de grotere droogleggingen nog reductie van de natschade weet te bewerkstelligen. Vermindering van de droogteschade door onderwaterdrainage is, ook bij de grote droogleggingen, slechts gering.

FIGUUR 5.4 MET SWAP-WOFOST GEMODELEERDE EFFECTEN VAN ONDERWATERDRAINAGE OP DE 30-JARIG-GEMIDDELTE ACTUELE GRASOPBRENGSTDerving (KG PER HA PER JAAR) DOOR DROOGTE- EN DOOR NATSCHADE VOOR BODEMENEID V500 (5 M DIK VEEN ZONDER KLEIDEKJE) BIJ HUIDIG KLIMAAT ALS HET VERSCHIL TUSSEN ZONDER MINUS MET ONDERWATERDRAINAGE UITGEZET TEGEN DE DROOGLEGGING, DE KWEL/WEGZIJGINGSFLUX EN DE GLG (GEMIDDELD LAAGSTE GRONDWATERSTAND. POSITIEVE VERSCHILLEN BETEKENEN DAT ONDERWATERDRAINAGE DE OPBRENGSTDerving VERMINDERT. DE ZWARTE LIJNEN IN DE FIGUREN MIDDEN EN RECHTS ZIJN LINEAIRE TRENDLIJNEN EN DE R²-WAARDEN GEVEN DE STERKTE (MAX. = 1) VAN DE TREND AAN. DE HONDERD PUNTJES IN ELK FIGUUR PER KLEUR ZIJN UNIEKE COMBINATIES VAN DROOGLEGGING EN ONDERRANDFLUX (KWEL/WEGZIJGINGSINTENSITEIT).



Figuur 5.4 laat de effecten van onderwaterdrainage op de opbrengstderving zien. Daarvoor zijn de verschillen in opbrengstderving tussen zonder en met onderwaterdrainage uitgezet tegen de twee grootheden die de vochttoestand van de veenbodem sterk bepalen: de drooglegging en de onderrandflux als kwel/wegzijing. Daarnaast zijn de verschillen uitgezet tegen de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) wat een grootheid is die het hydrologische effect van drooglegging en onderrand weerspiegelt. Het verband met de drooglegging lijkt niet erg eenduidig, maar wel lijken er zowel bij droogte- als natschade twee groepen te zijn die zich langs het hele bereik van de drooglegging uitstrekken. Er is een groep met nauwelijks effect en een groep met gering positief effect bij de drooglegging, en een groep met licht negatief tot geen effect en een groep met sterk positief effect bij de natschade. Het verschil tussen de twee groepen wordt verklaard door het sterke verband met de onderrandflux. Het (sterke) positieve effect bij natschade is recht evenredig met de kwelintensiteit en het licht negatieve met de wegzijgingsintensiteit. Voor droogteschade geldt het omgekeerde: in kwelsituaties is er een licht negatief of geen effect, terwijl bij toenemende wegzijing het positieve effect van drains groter wordt. Deze fenomenen zijn eenvoudig te verklaren: veenbodems die nat zijn door grote kweldruk hebben vooral baat bij de drainerende werking van de drains terwijl droge veenbodems als gevolg van grote wegzijing meer profijt hebben van de infiltrerende werking van de drains. Het negatieve effect van drains op de natschade bij wegzijing komt doordat de vernattende werking van drains in deze situaties gaat domineren: in deze drogere bodems valt met drainage immers minder positief effect te behalen terwijl de vernatting juist tot grotere natschade kan leiden.

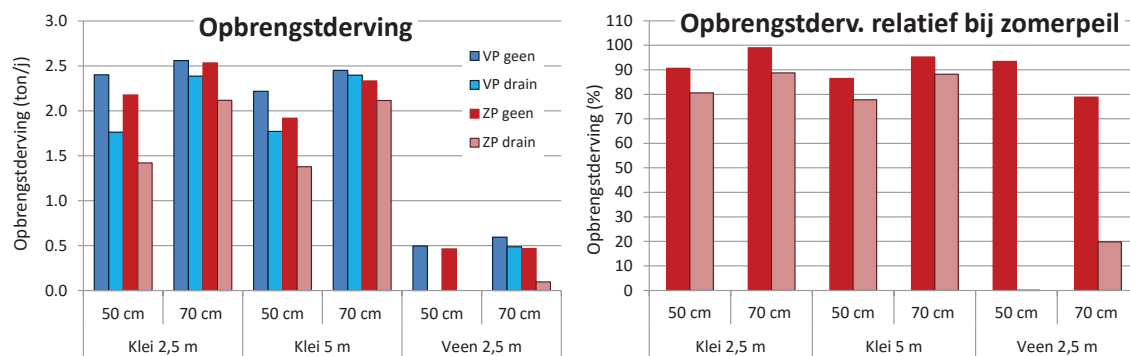
De relatie van de verschillen met de GLG is alleen sterk voor de natschade bij hoge GLG's. Onderwaterdrainage vermindert in dit bereik van de GLG de natschade aanzienlijk. Bij lage GLG's is vooral de onderrand bepalend voor het effect van onderwaterdrainage op het verschil in natschade. Daar geldt de relatie tussen wegzijging en verschil in schade. De relatie tussen GLG en droogteschade hangt sterk samen met de onderrand.

De richting van bovenbeschreven effecten is verklaarbaar. De orde van grootte van de effecten in absolute zin lijken niet overeen te stemmen met de kennis uit de praktijk. Vooral het feit dat het model slechts een zeer geringe droogteschade berekent lijkt af te wijken van de realiteit. De natschade wordt mogelijk op dit moment te groot berekend door het model. Net zoals voor de berekeningen in hoofdstuk 4 voor het metamodel is er sprake van een prototype van Waterwijzer Landbouw. Inmiddels is voor grasland een alweer verbeterde versie van SWAP-WOFOST ontwikkeld, zoals al gebruikt voor hoofdstuk 3. In een volgende berekeningsronde zullen nieuwe uitkomsten worden gegenereerd die opnieuw zullen worden beoordeeld op de aspecten, genoemd aan het begin van deze alinea.

ZOMERPEIL

Om te kunnen beslissen over het nut of de noodzaak van het meenemen van een 10 cm hoger zomerpeil in de berekeningen is een analyse uitgevoerd naar de gevoeligheid van veenweide-eenheden-drooglegging-combinaties voor droogtestress. Voor een aantal droogtegevoelige combinaties is berekend wat het effect van een 10 cm hoger zomerpeil is. Figuur 5.5 geeft droogteschades wanneer géén 10 cm hoger zomerpeil is ingesteld en wanneer dat wél het geval is. De berekeningen gelden voor een onderrand met gemiddeld 250 mm wegzijging op jaarbasis. Wegzijging is de gevoeligste situatie voor droogtestress.

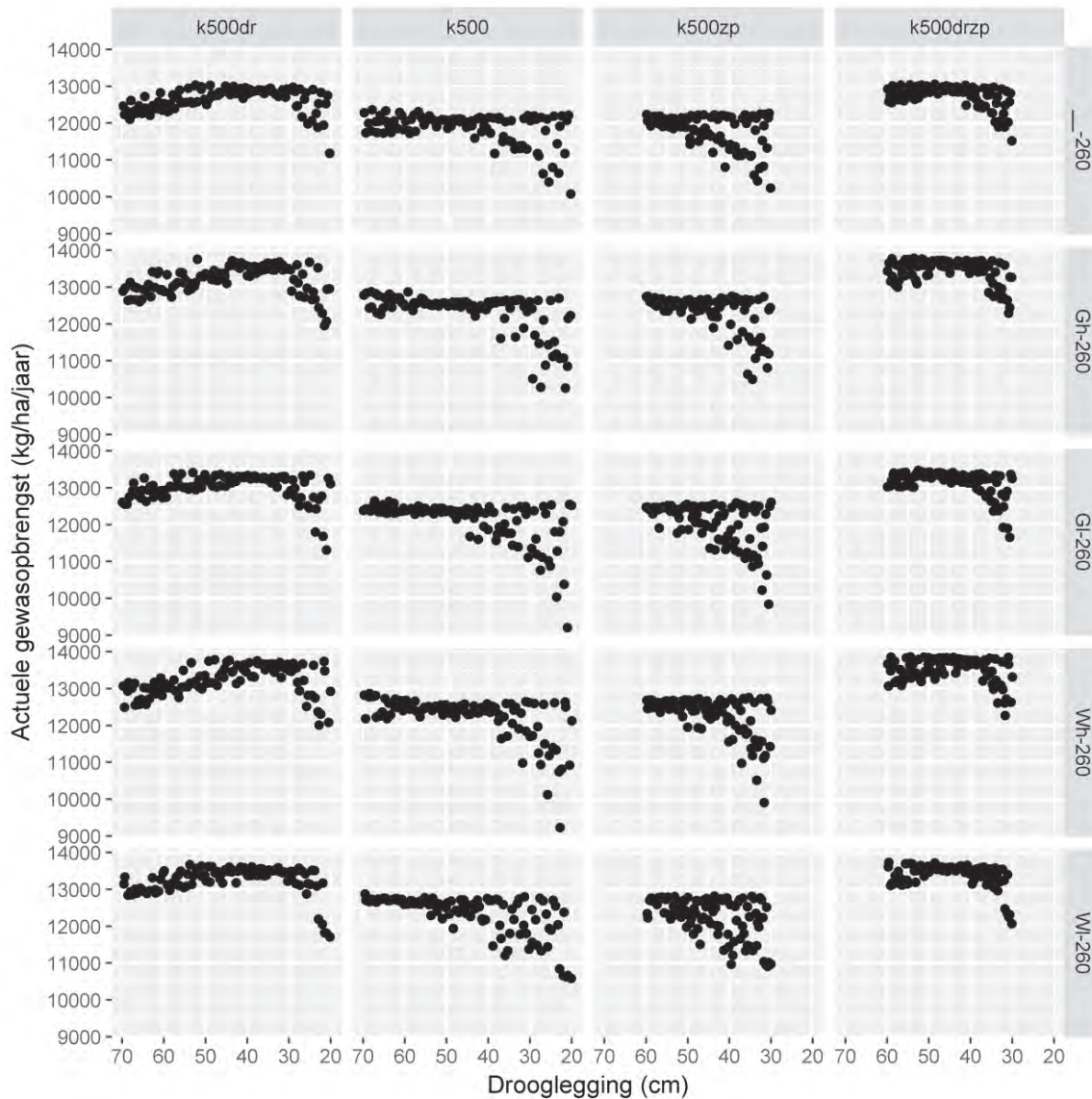
FIGUUR 5.5 LINKS: OPBRENGSTDERVING DOOR DROOGTESTRESS TEN OPZICHTE VAN 80% VAN DE POTENTIËLE OPBRENGST (= HAALBARE OPBRENGST BIJ GOOD MANAGEMENT PRACTICE). RECHTS: DE OPBRENGSTDERVING BIJ ZOMERPEIL ALS PERCENTAGE VAN DE OPBRENGSTDERVING BIJ VAST PEIL.



Te zien is dat de droogtestress het grootst is bij een kleidek bij 70 cm drooglegging. Klei kent meer droogtestress dan veen door de mindere capillaire nalevering. De droogtestress is uiteraard groter bij 70 cm dan 50 cm drooglegging. Onderwaterdrainage zonder zomerpeil geeft bij 70 cm drooglegging een heel klein negatief effect: de droogtestress wordt iets groter door het drainerende effect van de drains in combinatie met de forse drooglegging. Dit effect is ook bekend van de reactie van de maaiveldaling bij onderwaterdrainage: dat is negatief (meer dan bij de droogtestress), de maaiveldaling neemt toe. Bij het instellen van een zomerpeil is dat negatieve effect verdwenen en verminderen onderwaterdrains in alle gevallen de droogtestress het meest. Bij 50 cm is het effect op de droogtestress van de combinatie onderwaterdrains en zomerpeil het gunstigst. Voor een drooglegging van 60 cm mag worden geïnterpoleerd tussen 50 en 70 cm. Voor een drooglegging van 40 cm kan

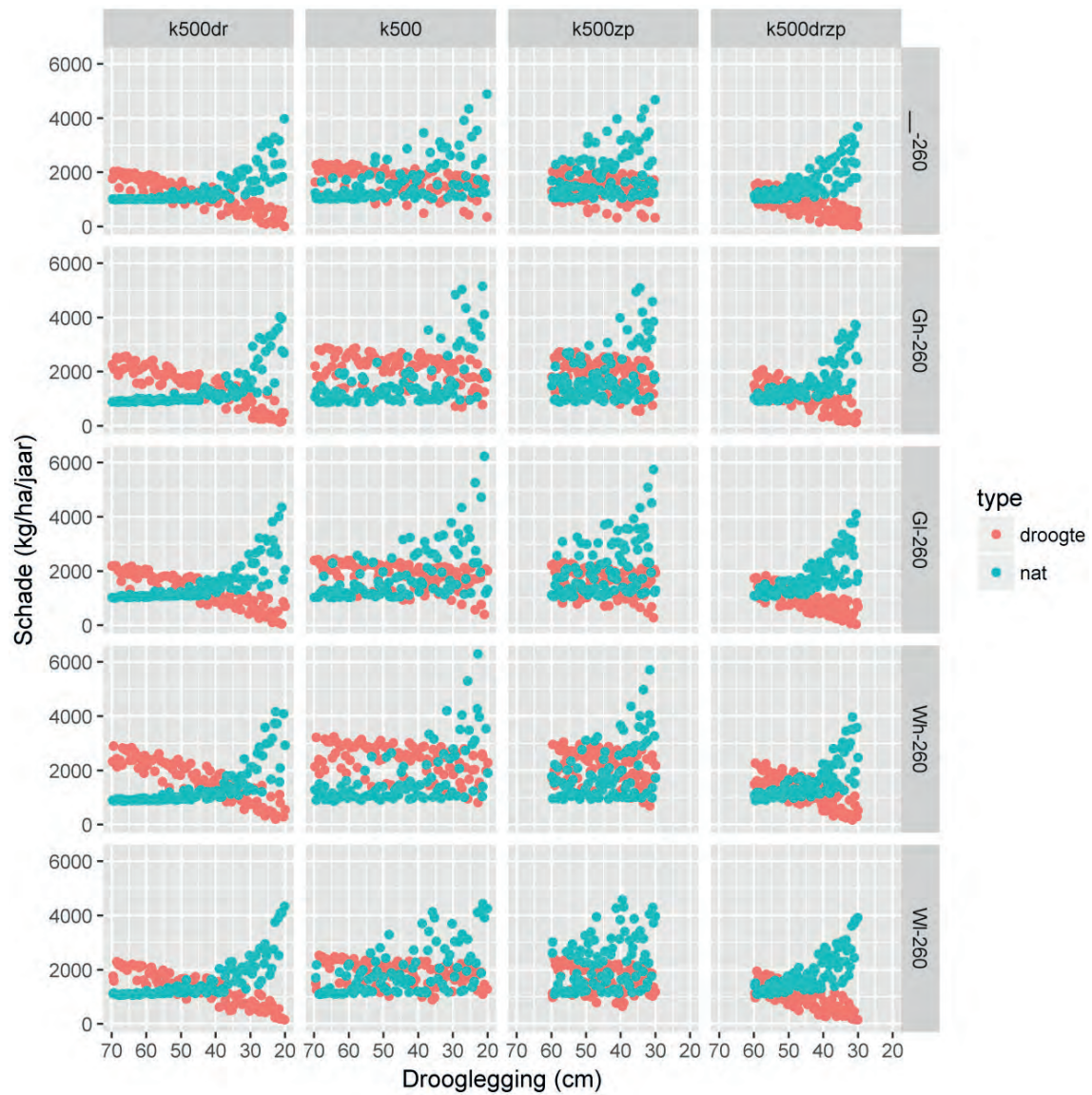
worden geëxtrapoleerd. De vraag is of de combinatie 40 cm met onderwaterdrains plus zomerpeil realistisch is.

FIGUUR 5.6 MET SWAP-WOFOST GEMODELLEERDE 30-JARIGGEMIDDELTE ACTUELE GRASOPBRENGST (KG PER HA PER JAAR) VOOR BODEMEENHEID K500 '5 M DIK VEEN MET KLEIDEKJE' UITGEZET TEGEN DE DROOGLEGGING (CM) EN VERGELEKEN VOOR GEEN (K500) EN WEL (K500ZP) ZOMERPEIL, EN ZONDER EN MET ONDERWATERDRAINAGE (DR) VOOR ALLE REKENRUNS IN HET HUIDIGE KLIMAAT (-260) EN DE VIER KNMI-KLIMAATSCENARIO'S GH, GL, WH, WL (ZIE FIGUUR 4.5). DE HONDERD PUNTJES IN ELK FIGUUR ZIJN UNIEKE COMBINATIES VAN PEIL (DROOGLEGGING) EN ONDERRANDFLUX (KWEL/WEGZIJGINGSINTENSITEIT).



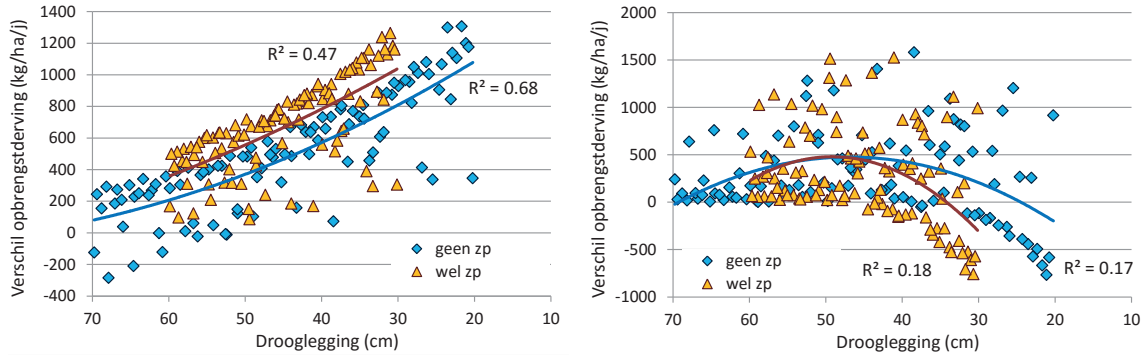
Figuur 5.6 toont de modelresultaten van de actuele grasopbrengsten als functie van de drooglegging voor de modelleringen zonder onderwaterdrainage van bodemeenheden k500 (5 m dik veen met kleidekje) en voor de situatie zonder en met onderwaterdrainage gecombineerd met zonder en met zomerpeil. Voor beide vormen van peilbeheer geeft onderwaterdrainage positieve effecten op de actuele grasopbrengsten. Voor het zomerpeil zijn deze effecten bij de grotere drooglegging net wat positiever. Dit is ook te zien in figuur 5.7 waarin de modelresultaten als opbrengstderiving zijn weergegeven: deze zijn vooral voor de grotere drooglegging het geringst bij de situatie met onderwaterdrainage en met zomerpeil.

FIGUUR 5.7 MET SWAP-WOFOST GEMODELLEERDE 30-JARIGGEMIDDELDE ACTUELE GRASOPBRENGSTDERIVING (KG PER HA PER JAAR) DOOR DROOGTE- EN DOOR NATSCHADE VOOR BODEMEENHEDEN K500 '5 M DIK VEEN MET KLEIDEKJE' UITGEZET TEGEN DE DROOGLEGGING (CM) EN VERGELEKEN VOOR GEEN (K500) EN WEL (K500ZP) ZOMERPEIL, EN ZONDER EN MET ONDERWATERDRAINAGE (DR) VOOR ALLE REKENRUNS IN HET HUIDIGE KLIMAAT (-260) EN DE VIER KNMI-KLIMAATSCENARIO'S GH, GL, WH, WL (ZIE FIGUUR 4.5). DE HONDERD PUNTJES IN ELK FIGUUR PER KLEUR ZIJN UNIEKE COMBINATIES VAN DROOGLEGGING EN ONDERRANDFLUX (KWEL/WEGZIJJINGSINTENSITEIT).



FIGUUR 5.8

MET SWAP-WOFOST GEMODELLEERDE EFFECTEN VAN ONDERWATERDRAINAGE OP DE 30-JARIG-GEMIDDELTE ACTUELE GRASOPBRENGSTDERIVING (KG PER HA PER JAAR) DOOR DROOGTE- EN DOOR NATSCHADE VOOR BODEMEENHEID K500 (5 M DIK VEEN MET KLEIDEKJE) BIJ HUIDIG KLIMAAT ALS HET VERSCHIL TUSSEN ZONDER MINUS MET ONDERWATERDRAINAGE UITGEZET TEGEN DE DROOGLEGGING VOOR DE SITUATIE ZONDER EN MET ZOMERPEIL (ZP). LINKS: DROOGTESCHADE; RECHTS: NATSCHADE. POSITIEVE VERSCHILLEN BETEKENEN DAT ONDERWATERDRAINAGE DE OPBRENGSTDERIVING VERMINDERT. DE LIJNEN IN DE FIGUREN ZIJN LINEAIRE TRENDLIJNEN EN DE R^2 -WAARDEN GEVEN DE STERKTE (MAX. = 1) VAN DE TREND AAN. DE HONDERD PUNTJES IN ELK FIGUUR PER KLEUR ZIJN UNIEKE COMBINATIES VAN DROOGLEGGING EN ONDERRANDFLUX (KWEL/WEGZIJJINGSINTENSITEIT).

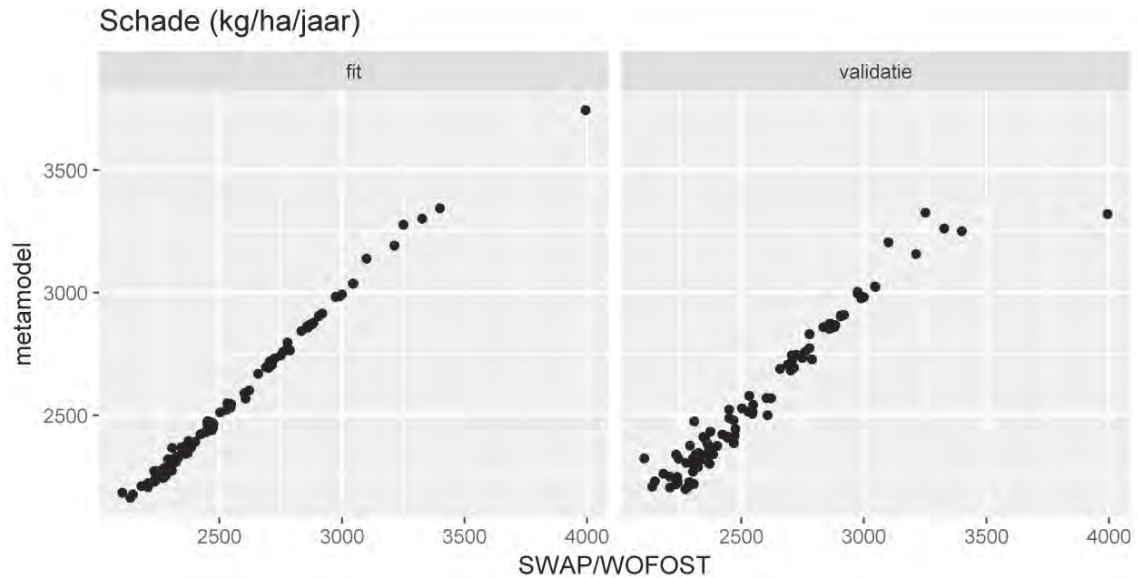


In figuur 5.8 is het verschil in opbrengstderiving als gevolg van onderwaterdrainage getoond voor de situaties zonder en met zomerpeil. Dit is apart gedaan voor droogteschade en natschade. Voor de droogteschade is het beeld redelijk eenduidig en geeft de combinatie zomerpeil en onderwaterdrainage zo'n 200 kg per ha per jaar minder schade dan onderwaterdrainage bij een constant peil, ongeacht de (winter)drooglegging. Voor de natschade is er geen eenduidig beeld. Er lijkt een omslagpunt in de drooglegging van een dikke 30 cm bij constante drooglegging en van ruim 40 cm bij zomerpeil waarbij kleinere droogleggingen in combinatie met onderwaterdrainage juist meer natschade geven dan zonder onderwaterdrainage. Bij grotere droogleggingen dan dit omslagpunt zijn de effecten van onderwaterdrainage op de natschade bij beide vormen van peilbeheer nihil tot positief.

5.4 VALIDEREN METAMODELLEN

Om te toetsen hoe goed de metamodellen de resultaten van SWAP-WOFOST kunnen reproduceren is op gelijke wijze als in paragraaf 4.8 een validatiestudie uitgevoerd. Het resultaat voor een 5 meter dik veenprofiel met kleidekje en onderwaterdrainage (k500dr) is gegeven in Figuur 5.9. Op de x-as staat de schade zoals is berekend met SWAP-WOFOST (30 jaar gemiddelde schade voor het huidige klimaat), op de y-as staat de schade zoals met het meta-model is berekend. De linker figuur is gebaseerd op gegevens die bij het kalibreren (fitten) van het meta-model zijn gebruikt. De rechterfiguur is bruikbaar voor validatiedoeleinden, omdat de gegevens die voor deze figuur zijn gebruikt *niet* bij het kalibreren zijn gebruikt. Validatie zegt iets over de kwaliteit van het meta-model als nieuwe gegevens worden gebruikt bij de toepassing. Het percentage verklaarde variantie bij de validatie is circa 93%. Dat wil zeggen dat slechts 7% van de variatie in de SWAP-WOFOST-resultaten niet door het meta-model kan worden verklaard.

FIGUUR 5.9 VERMOGEN VAN HET METAMODEL OM DE RESULTATEN VAN SWAP-WOFOST TE REPRODUCEREN VOOR EEN 5 M DIK VEENPROFIEL MET EEN KLEIDEKJE EN ONDERWATERDRAINAGE (K500DR). OP DE X-AS STAAT DE SCHADE VOLGENS SWAP, OP DE Y-AS DE SCHADE VOLGENS HET METAMODEL. DE LINKER FIGUUR IS GEBASEERD OP GEGEVENS WAARMEE HET METAMODEL IS GEKALIBREERD (GEFIT). DE RECHTER FIGUUR IS INTERESSANTER OMDAT HIER HET METAMODEL WORDT GETOETST OP BASIS VAN GEGEVENS DIE NIET ZIJN GEBRUIKT BIJ HET KALIBREREN VAN HET METAMODEL.



5.5 CONCLUSIES

Volgens de modelberekeningen heeft onderwaterdrainage een groot positief effect op de grasopbrengsten in de veenweidegebieden in provincie Utrecht. De som van nat- en droogteschade kan tot 4 ton per ha per jaar worden verminderd door onderwaterdrainage. Die grote reductie geldt dan voor de natschade die groot is onder natte omstandigheden zoals die worden verkregen in situaties met grote kweldruk en geringe drooglegging. De drainerende werking van de drains bewerkstelt deze positieve effecten.

Het model berekent slechts een zeer geringe droogteschade en een navenant gering effect van onderwaterdrainage op deze droogteschade. In de droge situatie door grote drooglegging met sterke wegzijging heeft onderwaterdrainage het grootste positieve (verminderende) effect op de droogteschade. Toch weet onderwaterdrainage dan niet de gehele droogteschade te voorkomen.

Het instellen van een 10 cm hoger zomerpeil bij toepassen van onderwaterdrainage vermindert de droogteschade met circa 200 kg drogestof per ha per jaar extra ten opzichte van toepassen van onderwaterdrainage zonder instellen van een zomerpeil.

6

CONCLUSIES

Dit rapport beschrijft de resultaten van fase 3 van het project Waterwijzer Landbouw. In deze fase lag de focus volledig op de melkveehouderij, dus met alleen aandacht voor grasland en maïs.

De volgende doelstellingen zijn gerealiseerd:

- 1 Actualiseren van de kennis over indirecte schade bij gras en maïs, inclusief structuurbederf en gewaskwaliteit, en deze kennis geschikt maken voor opname in de schadeberekening als onderdeel van het modelinstrumentarium. Dit is beschreven in hoofdstuk 2.
- 2 Realiseren van de koppeling van SWAP-WOFOST met BBPR (BedrijfsBegrotingsProgramma Rundvee (Schils *et al.*, 2007) om indirecte schade en bedrijfsvoering mee te kunnen nemen bij de schadeberekeningen en toetsing van SWAP-WOFOST-BBPR aan de hand van een beperkt aantal bedrijfstypen. Dit heeft geresulteerd in een plausibiliteitstoets en voorbeeldberekeningen, zoals beschreven in hoofdstuk 3.
- 3 Afleiden van een complete set metamodellen voor alle bodemtypen van de bodemfysische eenhedenkaart (BOFEK, Wösten *et al.*, 2013), voor meerdere klimaatscenario's en voor de gewassen gras en maïs. De werkwijze en resultaten staan beschreven in hoofdstuk 4.
- 4 In aanvulling op de hierboven genoemde aspecten is in hoofdstuk 5 beschreven hoe de Waterwijzer Landbouw toepasbaar is gemaakt voor het berekenen van de effecten van onderwaterdrainage op de reductie van gewasproductie door natschade en droogteschade voor de specifieke omstandigheden van de veenweiden in Utrecht en Zuid-Holland.
In de volgende fases van Waterwijzer Landbouw zal verder worden gewerkt aan de toepasbaarheid van het metamodel en het modelinstrumentarium voor maatwerk, aan andere gewassen (akkerbouw, groenten, bollen) en aan de implementatie van recente kennis over zouttolerantie voor de berekening van zoutschade. Het streven is om eind 2017 een instrumentarium op te leveren dat kan worden toegepast.

LITERATUUR

Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007. *Maaiveldddaling, afbraak en CO₂ emissie van Nederlandse veenweidegebieden. Leidraad Bodembescherming*. Den Haag, Sdu.

Akker, J.J.H. van den en W.J.M. de Groot, 2008. *Een inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdwijning van zandgronden en lichte zavelen*. Wageningen, Alterra, rapport 1450.

Akker, J.J.H. van den, F. de Vries, G.D. Vermeulen, M.J.D. Hack-ten Broeke en T. Schouten, 2013a. *Risico op ondergrondverdwijning in het landelijk gebied in kaart*. Wageningen, Alterra, rapport 2409.

Alblas, J., P. Boekel en M.A. van der Beek, 1987. Gewaseisen. In: *Themadag "Werkbaarheid en tijdigheid" georganiseerd door de Werkgroep Grondbewerking, Technische Aspecten*. Verslag nr. 64.

Arts, W.B.M., B.R. Verwijs en J. van Maanen, 1994. *De invloed van bereiding op de fysische bodemconditie van zandgrond en de gevolgen daarvan voor de grasproductie*. Wageningen, IMAG-DLO, rapport 94-5.

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

Bakel, J. van en I. Hoving, 2016. *Kennis over indirecte nat- en droogteschade bij gras en maïs voor Waterwijzer Landbouw*. Wageningen, Alterra/Wageningen Livestock Research, Werkdocument.

Bartholomeus, R., J. Kroes, J. van Bakel, M. Hack-ten Broeke, D. Walvoort en F. Witte, 2013. *Actualisatie Schadefuncties Landbouw; fase 1*. Amersfoort, STOWA, rapport 2013-22.

Beuving, J., K. Oostindie en Th. Vellinga, 1989. *Vertrappingsverliezen door onvoldoende draagkracht van veengrasland*. Wageningen, Staring Centrum, rapport 6.

Blom, G., M. Paulissen, C. Vos en H. Agricola, 2008. *Effecten van klimaatverandering op Landbouw en Natuur. Nationale Knelpuntenkaart en Adaptatiestrategieën*. Wageningen, PRI, rapport 182.

Boekel, P., 1979. De bewerkbaarheid van de grond in het voorjaar. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 18(4): 211-219.

Breiman, L., 2001. Random Forests. *Machine Learning* 45: 5-32.

Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. *Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van landgebruik*. Wageningen, Staring Centrum-DLO, Technisch Document 19D.

Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (GBGV), 2002. *Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen*. Lelystad, Animal Sciences Group Divisie Veehouderij.

Commissie Samenstelling Aanbevelende Rassenlijst (CSAR), 2015. *Rassenlijst 2015, Veehouderij voedergewassen, 90e jaargang*. Stichting CSAR.

Dekker, L.W., 1998. *Moisture variability resulting from water repellency in Dutch soils*. PhD Thesis Wageningen Universiteit.

Dijk, M. van en S. van Miltenburg, 2013. *De invloed van bodemstructuur op het watersysteem. Een verkenning*. Amersfoort, Stowa, rapport 2013-13A.

Hack-ten Broeke, M.J.D., 2000. *Nitrate leaching from dairy farming on sandy soils. Case studies for experimental farm De Marke*. PhD Thesis, Wageningen University.

Hack-ten Broeke, M., J. Kroes, R. Hendriks, R. Bartholomeus, J. van Bakel en I. Hoving, 2013. *Actualisatie schadefuncties voor de landbouw, tussenfase 2A: plausibiliteitstoets SWAP en enkele verkennde berekeningen*. Amersfoort, Stowa, rapport 2013-37.

Hardeveld, H. van, R. Hendriks, C. Kwakernaak en J. van den Akker, 2006. *Toepassing van onderwa-terdrainage in veenweiden; een overzicht van kennis*. http://www.waarheenmethetveen.nl/data/deel_1_NotaToepassingOnderwaterdrainage_def.pdf

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

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. *Pilot onderwaterdrains Utrecht*. Wageningen, Alterra, rapport 2479.

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, P.C. Jansen en H.Th.L. Massop, 2014. *Effecten van onderwaterdrains in peilvak 9 van polder Groot-Wilnis Vinkeveen. Modelstudie naar de effecten van onderwaterdrains op maaiveldaling, waterbeheer, wateroverlast en waterkwaliteit in peilvak 9*. Wageningen, Alterra, rapport 2480.

Hielkema, J.U., 1974. *Literatuurstudie en onderzoek naar de indringingsweerstand van klei- en zavelgronden*. Wageningen, Stiboka, rapport 1200.

Hoes, O., F. Nelen en E. van Leeuwen, 2013. *Waterschadeschatter (WSS). Gebruikershandleiding*. Amersfoort, STOWA, rapport 2013-11.

Hokke, G. en T. Tanis, 1978. *Onderzoek naar werkbare dagen voor veldwerkzaamheden op akkerbouwbedrijven*. Wageningen, IMAG, publicatie 109.

Holshof, G. en A. van den Pol-van Dasselaar, 2014. *Modelling DM growth of multi-species grassland plots in the Netherlands*. EGF 2014.

Houben, J.M.M.Th., 1979. *Bodemgesteldheid en diepte van beworteling*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 1459.

Hoving, I.E., J.J.H. van den Akker, M. Pleijter en K. van Houwelingen, 2011. *Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang*. Wageningen, WUR-LiveStock Research, rapport 449.

Hoving, I.E., J.A. de Boer en J. Kanis, 2013. *Schadeberekening door graslandinundatie op melkveebedrijven*. Wageningen, WUR-LiveStock Research, rapport 700.

Iman, R. L. en W.J. Conover, 1982. A distribution-free approach to inducing rank correlation among input variables. *Communications in Statistics - Simulation and Computation* **11**: 311 – 334.

Kamp, A. van der, J.A. de Boer, A.G. Evers, G. Holshof en R. Zom, 2003. *Voedervoorziening in BBPR*. Lelystad, Animal Sciences Group, intern rapport 496.

Korevaar, H., 1986. *Production and feeding value of grass from grassland with restrictions in use and in fertilization for nature conservation*. Lelystad, Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij (PR), Thesis, PR rapport 117.

Kroes, J. G., J.C. van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en C.M.J. Jacobs, 2008. *SWAP version 3.2: Theory description and user manual*. Wageningen University & Research Center.

Kroes, J., R. Bartholomeus, J. van Dam, M. Hack-ten Broeke, I. Supit, R. Hendriks, A. de Wit, F. van der Bolt, D. Walvoort, I. Hoving en J. van Bakel, 2015. *Waterwijzer landbouw, fase 2. Modelleren van het bodem-water-plantsysteem met het gekoppelde instrumentarium SWAP-WOFOST*. Amersfoort, Stowa, rapport 16.

KWIN 2016-2017. *Kwantitatieve Informatie Veehouderij*. Handboek 31.

Mandersloot, F., A.T.J. van Scheppingen en J.M.A. Nijssen, 1991. *Modellen rundveehouderij: overzicht en samenhang modellen voor simulatie van melkveebedrijven*. Lelystad, Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, publicatie nr. 72.

Massop, H. Th. L., J.G. Kroes, H.R.J. Vroon en H.M. Mulder, 2014. *Pilot SWAP berekening droogteschade; Vergelijking droogteschadeberekening volgens SWAP met de TCGB-tabel voor de waterwinning Vierlingsbeek*. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra, rapport 2600.

McKay, M. D., R.J. Beckman, W.J. Conover, 1979. A Comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code. *Technometrics* **21**: 239-245.

Oostindie, K. en R.F.A. Hendriks, 2005. *Bepaling van de parameters van een grondwaterstand afhankelijke afvoerrelatie bij een gegeven grondwatertrap. De parameters van de Q(h) relatie*. Wageningen, Alterra Wageningen UR, interne memo.

Puijsselaar, A.A. ,2012. *Informatiebulletin. Kennisoverdracht invulling begrip duurzame landbouw. De pH*. Agriton, Noordwolde.

Ritsema, C.J., 1998. *Flow and transport in water repellent soils*. PhD Thesis WUR.

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.

Schipper, P., P. Groenendijk, N. van Eekeren, M. van Zanen, J. Rozemeijer, G. Jansen en B.

Swart, 2015. *Goede grond voor een duurzaam watersysteem. Verdere verkenning in de relatie tussen agrarisch bodembeheer, bodemkwaliteit en waterhuishouding*. Amersfoort, Stowa-rapport 2015-19.

Schothorst, C.J., 1982. *Drainage and behaviour of peat soils*. Wageningen, Institute for Land and Water Management Research, report 3.

Szymkiewicz, A., 2009. Approximation of internodal conductivities in numerical simulation of one-dimensional infiltration, drainage, and capillary rise in unsaturated soils. *Water Resources Research* **45**(10): 1–16. <http://doi.org/10.1029/2008WR007654>.

Soesbergen, G.A. van, C. van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986. *De interpretatie van bodemkundige gegevens*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering, rapport 1967.

Stolte, J., J.G. Wesseling en S. Verzandvoort-van Dijck, 2007. *Kwaliteitsdocumentatie voor de verkrijging van Status A voor de gegevens van de Staringreeks zoals opgenomen in het gegevensbestand Priapus. Versie 1*. Wageningen, Alterra, rapport 1522.

Stuyt, L.C.P.M., M. Blom-Zandstra en R.A.L. Kselik, 2016. *Inventarisatie en analyse zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van bestaande gegevens*. Wageningen, Wageningen Environmental Research rapport 2739.

Vermeulen, G.D., B.R. Verwijs en J.J.H. van den Akker, 2013. *Vergelijking van de bodembelasting bij agrarisch veldwerk in 1980 en 2010*. Wageningen, WUR-PRI, rapport 501.

Visscher, J., 2012. *Verziltning in de veehouderij: ervaringen op melkveebedrijven*. Wageningen, WUR-Livestock Research, rapport 639.

Vos, J.A. de, 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. Wat. Man.* **86**(1-2): 187-195.

Vos, J.A. de, I.E. Hoving, P.J.T. van Bakel en R.A. Smidt, 2007. *Regionale opschaling van nat- en droogteschade in de landbouw in Utrechtse veenweidegebieden*. Wageningen, Alterra, rapport 1505.

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

Vos, J.A. de, P.J.T. van Bakel, I.E. Hoving en R.A. Smidt, 2010. Raising surface water levels in peat areas with dairy farming . Upscaling hydrological, agronomical and economic effects from farm-scale to local scale. *Agr. Water Manag.* **97**: 1887-1897.

Vroon, H.R.J., 2012. *Onderzoek naar de freatische grondwaterstandverlaging en verzuring van de bovengrond als gevolg van grondwateronttrekking in het waterwingebied Mander*. Wageningen, Alterra Wageningen UR, notitie.

Wallenburg, C. van en J.J. Vleeshouwer, 1987. *Resultaten van een landelijke inventarisatie van de stevigheid van de bovengrond van grasland*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering, rapport 1915.

Walvoort, D., 2006. Sudoku Sampling. *Pedometron* **20**: 11-13.

Walvoort, D., J. Kroes, R. Bartholomeus en M. Hack-ten Broeke, 2014. *Discussienotitie parameterisatie, kalibratie, validatie van het modelsysteem SWAP-WOFOST*. Notitie Waterwijzer-Landbouw. Wageningen, Alterra Wageningen UR.

Werkgroep Normen Voor de Voederveorziening, 1991. *Normen Voor de Voederveorziening*. Lelystad, PR, publicatie 70.

Wesseling, J.G., 1998. *Some equations and the computerprogram Helena for the calculation of daily evaporation*. Wageningen, DLO Winand Staring Centre, Technical Document 48.

Wijk, A.L.M. van, 1984. *Landbouwkundige aspecten van ontwatering in veenweidegebieden: commentaar op een literatuuranalyse*. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, rapport 9.

Wijk, A.L.M. van, 1988. *Drainage, bearing capacity and yield (losses) on low moor peat pasture soils in the Netherlands*. Wageningen, ICW, report 20.

Wijk, A.L.M. van en R.A. Feddes, 1975. *Invloed van de waterhuishouding op de opbrengst van landbouwgewassen*. Wageningen, ICW, nota 867.

Wijk, A.L.M. van, R.A. Feddes, J.G. Wesseling en J. Buitendijk, 1988. *Effecten van grondsoort en ontwatering op de opbrengst van akkerbouwgewassen*. Wageningen, ICW, rapport 31.

Wind, G.P., 1986. *Slootpeilverlaging en grondwaterstandsaling in veenweidegebieden*. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* **25**: 321-330.

Wit, N.M.M. de, 1988. *De invloed van verschillende bodemparameters op de indringingsweerstand van zandgrond*. Wageningen, ICW, nota 1834.

Wopereis, F.A., 1991. *Bepaling van de drempelwaarde voor de landhoedanigheid "berijdbaarheid" op zandbouwland*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 196.

Wösten, J. H. M., 1987. *Beschrijving van de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken uit de Staringreeks met analytische functies*. Wageningen, Stiboka, rapport 2019.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994*. Wageningen, SC-DLO, Technisch Document 18.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001*. Wageningen, Alterra, rapport 153.

Wösten, J.H.M., F. de Vries, T. Hoogland, H. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman, 2013. *BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland*. Wageningen, Alterra, rapport 2387.

Zom, R.L.G, J.W. van Riel, G. André en G. van Duinkerken, 2002. *Voorspelling voeropname met Koemodel 2002*. Lelystad, Praktijkonderzoek Veehouderij, Praktijkrapport Rundvee 11.

BIJLAGE 1

BODEMFYSISCH RELATIES

B1.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft de totstandkoming van de bodemfysische relaties die nodig zijn om met SWAP berekeningen te kunnen uitvoeren voor metamodellen ten behoeve van Waterwijzer-Landbouw en het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI).

Er zijn berekeningen uitgevoerd voor alle 72 bodemprofielen van BOFEK2012 (Wösten *et al.*, 2013). De bodemfysische karakterisering van elk profiel wordt bij voorkeur doorgerekend met tabellen in plaats van met Mualem-VanGenuchtenfuncties voor en .

Met het programma Priapus (Stolte *et al.*, 2007) zijn ten behoeve van het BOFEK-rapport verkennende berekeningen uitgevoerd naar de invloed van de BOFEK2012 ten opzichte van de oude PAWN-bodemfysica (Wösten *et al.*, 2013). Dit is gedaan met voorlopige Priapus-tabellen die wel met meta-SWAP maar niet met SWAP zijn getest.

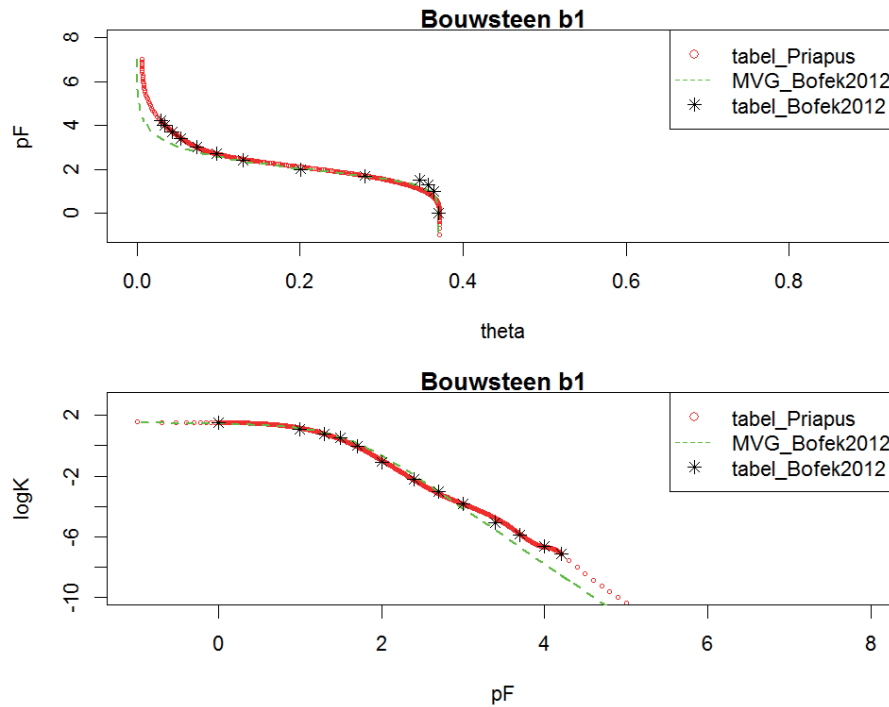
Dit projectonderdeel beoogt een generieke set BOFEK2012-tabellen op te leveren die getest zijn en geschikt voor de modellen SWAP en NHI/metaSWAP. Daarmee ontstaat tevens een verbeterde invulling/verwijzing voor de kolom AD in het eerder genoemde spreadsheet "BOFEK2012_profielen.xlsx".

B1.2 METHODE

Er is gebruikt gemaakt van de 72 bodemprofielen uit BOFEK2012, die zijn aangemaakt om meta-SWAP te testen. Met een recente versie Swap3.2.44 zijn deze profielen doorgerekend voor de klimaatreeks 1971-2000 met eenvoudige grasland gewasgroei. Uiteindelijk zijn de rekensessies succesvol afgesloten, zowel met tabellen als met Mualem-VanGenuchtenfuncties voor de bodemfysische karakterisering. Diverse kleine aanpassingen waren nodig, zowel in de tabellen als in de modellen. Figuur B1.1 geeft als voorbeeld de pF als functie van theta en als functie van pF voor bovengrond B1.

FIGUUR B1.1

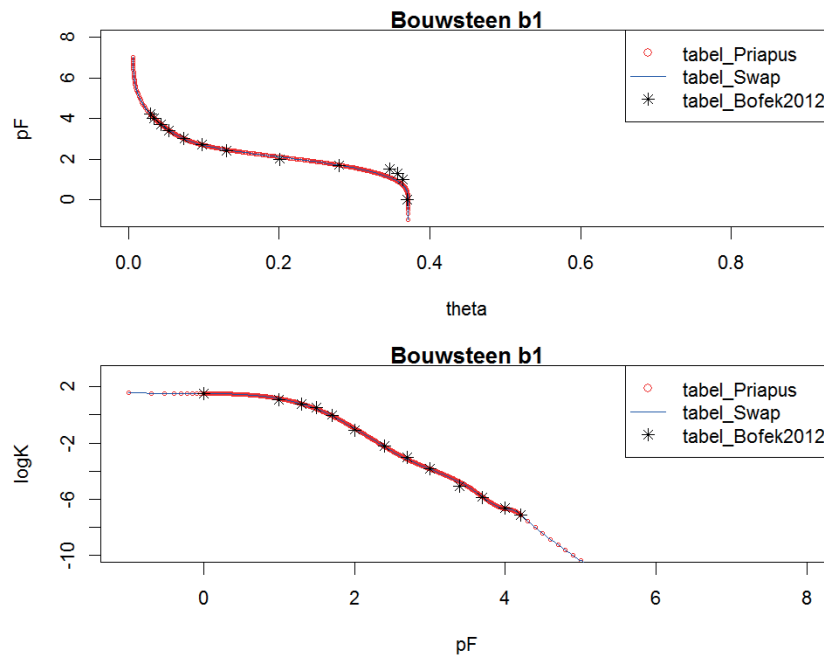
TWEE FIGUREN VOOR BOVENGROND B1. BOVEN: PF ALS FUNCTIE VAN THETA. ONDER: ALS FUNCTIE VAN PF. RODE BOLLETJES ZIJN RESULTAAT VAN SPLINE FIT MET PRIAPUS-DATA, GROENE STIPPELLIJN IS RESULTAAT VAN MUALEM-VANGENUCHTENFUNCTIES MET PARAMETERS VOLGENS WÖSTEN (1987) EN WÖSTEN ET AL. (1994, 2001), * ZIJN DE TABELLARISCHE GEVEGENS ZOALS GERAPPORTEERD DOOR WÖSTEN ET AL. (2013)



Het model SWAP berekent opnieuw een fit door de Priapus-tabellen. Dit is voor een generieke tabellenmethodiek noodzaak en in dit geval is gecontroleerd of de 'Swap-fits' overeenkomen met de 'Priapus-fits', hetgeen het geval bleek. Figuur B1.2 geeft als voorbeeld de resultaten van deze controle voor bovengrond B1.

FIGUUR B1.2

TWEE CONTROLEFIGUREN VOOR BOVENGROND B1. BOVEN: PF ALS FUNCTIE VAN THETA. ONDER: ALS FUNCTIE VAN PF. RODE BOLLETJES IS SPLINE FIT MET PRIAPUS-DATA, BLAUWE LIJN IS SPLINE FIT ALS RESULTAAT VAN SWAP-INTERPOLATIE IN PRIAPUS-TABEL, * IS GERAPPORTEERDE BOFEK-TABEL VOLGENS WÖSTEN (1987) EN WÖSTEN ET AL. (1994, 2001)



BOFEK2012 is gebaseerd op de Staringreeks van 1987, 1994 en 2001. De bijbehorende Mualem-VanGenuchtenparameters zijn gerapporteerd in Wösten (1987) en Wösten *et al.* (1994, 2001). De Mualem-VanGenuchtenparameters zijn toegekend aan BOFEK2012 (tabel B1.1) en vormden zo een aparte rekenset waarmee de 72 profielen zijn doorgekend.

B1.3 RESULTAAT

Dit projectonderdeel leverde de volgende resultaten op:

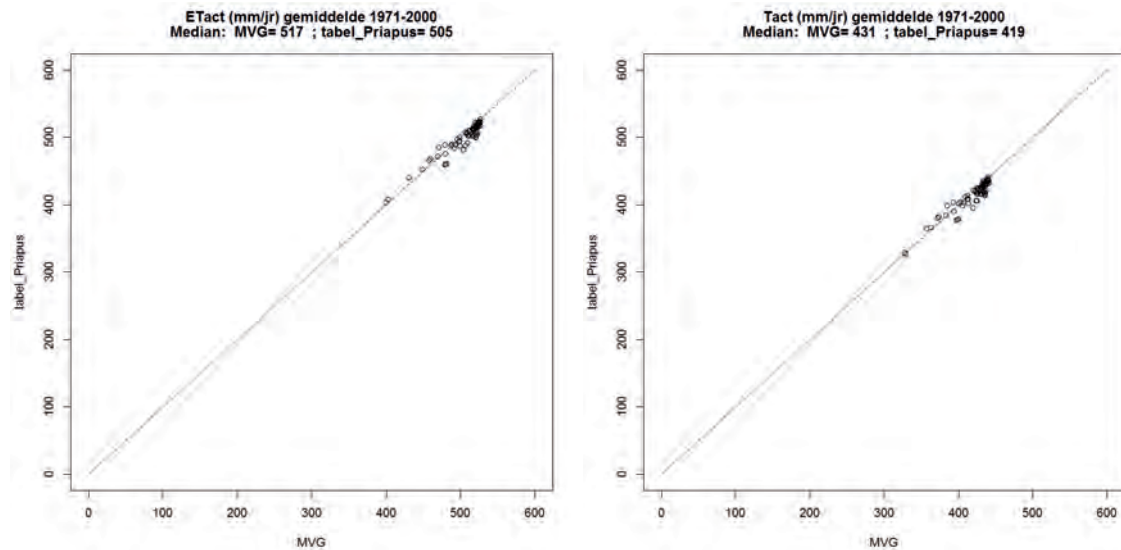
- Een set van 36 tabellen, geschikt voor rekenen met Swap3.2.44 binnen Waterwijzer. De tabellen zijn met Priapus gegenereerd en getest voor de 72 BOFEK2012 bodemprofielen.
- Een set van 36 tabellen, geschikt om met metaSWAP binnen het NHI te rekenen.
- Grafische analyse van 36 tabellen: vergelijking tussen a) tabellen Priapus, b) Mualem-VanGenuchtenfuncties MVG_BOFEK20120 en c) tabel_BOFEK2012 (zie het voorbeeld in Figuur 6.1).
- CPU-tijd voor Mualem-VanGenuchtenfuncties en tabellen is vergelijkbaar: ca 2400 cpu-sec voor 72x30 simulatiejaren. Dit geldt voor de verfijnde tabellen van Priapus. Voor onregelmatige tabellen kan de rekentijd oplopen.
- ETact en Tact verschillen gering; het mediane langjarige verschil bedraagt 12 mm tussen Tact en ETact, zie Figuur B1.3.
- Een aanbeveling voor parametrisatie van numerieke oplossingsmethodiek Swap3.2.44 (zie Box B1.1).

BOX B1.1 PARAMETRISATIE VAN NUMERIEKE OPLOSSINGSMETHODIEK SWAP3.2.44

```
*****
* Part 12 Numerical solution of Richards' equation
*
DTMIN   = 1.0d-6   ! Minimum timestep, [1.d-8..0.1 d, R]
DTMAX   = 0.2     ! Maximum timestep, [ 0.01..0.5 d, R]
GWLCONV = 100.0   ! Maximum dif. groundwater level between iterations, [1.d-5..1000 cm, R]
MSTEPS  = 100000  ! Maximum number of iteration steps to solve Richards', [ 2..100000 -, I]
CritDevPondDt = 1.0d-4 ! Critical Deviation in water balance of ponding layer [1.0d-5..100.0 cm, R]
CritDevh1Cp = 1.0d-2 ! Convergence criterium for Richards equation: relative difference in pressure heads (-)
CritDevh2Cp = 1.0d-1 ! Convergence criterium for Richards equation: absolute difference in pressure heads (L)
MaxIt    = 30     ! Maximum number of iterations [5,100 -,I]
MaxBackTr = 3     ! Maximum number of back track cycles within an iteration cycle [1,10 -,I]
*
* Switch for mean of hydraulic conductivity, [1,2,3,4, I]
* SWkmean = 1: unweighted arithmetic mean
* SWkmean = 2: weighted arithmetic mean
* SWkmean = 3: unweighted geometric mean
* SWkmean = 4: weighted geometric mean
SWkmean = 2
* Switch for implicit solution with hydraulic conductivity: 0 = explicit, 1 = implicit
SWkImpl = 0 ! Switch for kmean in implicit numerical solution with, [0,1, I]
*****
```

FIGUUR B1.3

ACTUELE EVAPOTRANSPIRATIE (ETACT) ALS RESULTAAT VAN SWAP3.2.44, DOORGEREKEND MET DE BODEMFYSICA IN MUALEM-VANGENUCHTENFUNCTIE- EN TABELVORM VOOR 72 BOFEK2012-PROFIELEN, VOOR EEN PERIODE VAN 30 JAAR (1971-2000). DE LINKER FIGUUR GEEFT ETACT, DE RECHTER TACT. OP X- EN Y-AS IN BEIDE FIGUREN HET RESULTAAT VAN RESP. DE MUALEM-VANGENUCHTENFUNCTIES EN DE TABEL_PRIAPUS



B1.4 AANBEVELINGEN

Op grond van de resultaten van dit projectonderdeel bevelen we het volgende aan:

- Verspreidt de tabellen voor 36 bouwstenen als set invoerbestanden via www.swap.alterra.nl met de laatste Swap3.2.44, zodra de update van de manual gereed is.
- Breidt de BOFEK2012 site (<http://www.wageningenur.nl/nl/show/Bodemfysische-Eenhedenkaart-BOFEK2012.htm>) uit met verwijzing naar Swap-site voor geschikte bodemfysische tabellen.
- De middelingsprocedures van SWAP missen een optie om middeling volgens de Darcian-flux methode (Szymkiewicz, 2009) toe te passen. Met deze procedure worden veelal lagere fluxen berekend. De verdampingsflux zal dan veelal lager worden berekend en droogtestress zal toenemen. Dit kan mogelijk gedeeltelijk tegemoet komen aan de kritiek dat SWAP te lage droogtestress uitrekent. Het verdient aanbeveling om het model SWAP uit te breiden met een optie voor middeling volgens de Darcian-flux methode.
- Voor het doorrekenen van preferent transport in gronden met krimp-scheuren en macroporiën ontbreekt de parametrisatie van bodemfysische gegevens. Het model SWAP heeft opties om er mee te rekenen, zie onder meer de toepassing van SWAP en PEARL door Tiktak *et al.* (2012), maar die worden weinig toegepast vanwege de lastige parametrisatie. Een database zou dit gat kunnen opvullen en voor binnen- en buitenlandse toepassingen een unieke dataset opleveren.

TABEL B1.1 MUALEM-VANGENUCHTENPARAMETERS BOFEK2012 MET VERWIJZING NAAR BIJBEHORENDE STARINGREEKS

soil	SPU	ORES	OSAT	ALFAD	NPAR	KSAT	LEXP	ALFAW	StaringReeks
topsoil	b1	0.00	0.37	0.0208	1.6460	33.3400	0.5710	0.0208	1987
topsoil	b2	0.00	0.43	0.0224	1.4360	32.2100	-0.3040	0.0224	1987
topsoil	b3	0.00	0.45	0.0152	1.4120	17.8100	-0.2130	0.0152	1987
topsoil	b4	0.00	0.42	0.0163	1.5590	54.8000	0.1770	0.0163	1987
topsoil	b5	0.01	0.36	0.0452	1.9330	52.9100	-0.3590	0.0452	2001
topsoil	b6	0.01	0.38	0.0222	1.2380	100.6900	-1.7470	0.0222	2001
topsoil	b7	0.00	0.40	0.0158	1.2870	25.1000	0.2480	0.0158	1987
topsoil	b8	0.00	0.40	0.0313	1.2000	22.9000	-3.5780	0.0313	1987
topsoil	b9	0.00	0.43	0.0065	1.3250	1.5400	-2.1610	0.0065	1994
topsoil	b10	0.00	0.44	0.0519	1.2160	31.1000	-6.5520	0.0519	1987
topsoil	b11	0.00	0.51	0.1562	1.0990	63.6000	-8.0670	0.1562	1987
topsoil	b12	0.00	0.57	0.1689	1.0680	98.2000	-10.2860	0.1689	1987
topsoil	b13	0.01	0.42	0.0084	1.3050	12.9800	-1.4970	0.0084	2001
topsoil	b14	0.01	0.42	0.0051	1.3050	0.8000	0.0000	0.0051	1994
topsoil	b15	0.01	0.53	0.0242	1.2800	81.2800	-1.4760	0.0242	2001
topsoil	b16	0.00	0.73	0.0134	1.3200	13.4400	0.5340	0.0134	1987
topsoil	b17	0.00	0.72	0.0180	1.1400	4.4600	-0.3500	0.0180	1994
topsoil	b18	0.00	0.71	0.0284	1.1410	34.8000	1.0860	0.0284	1987
subsoil	o1	0.00	0.35	0.0220	2.1860	99.7000	0.7960	0.0220	1987
subsoil	o2	0.00	0.38	0.0182	1.8700	63.9000	0.9110	0.0182	1987
subsoil	o3	0.00	0.34	0.0265	1.5430	44.6000	-0.3330	0.0265	1987
subsoil	o4	0.00	0.36	0.0216	1.5400	53.1000	-0.5200	0.0216	1987
subsoil	o5	0.00	0.33	0.0524	1.9120	223.0000	0.8730	0.0524	1987
subsoil	o6	0.00	0.41	0.0291	1.1520	5.4800	-6.8640	0.0291	1987
subsoil	o7	0.01	0.51	0.0123	1.1520	39.1000	-2.0230	0.0123	2001
subsoil	o8	0.00	0.42	0.0248	1.3210	26.4000	-0.6220	0.0248	1987
subsoil	o9	0.00	0.41	0.0280	1.2830	24.0000	-1.5590	0.0280	1987
subsoil	o10	0.00	0.44	0.0231	1.2120	25.6000	-2.2200	0.0231	1987
subsoil	o11	0.00	0.42	0.0420	1.1250	61.0000	-3.7060	0.0420	1987
subsoil	o12	0.00	0.49	0.0384	1.1130	10.8000	-6.7430	0.0384	1987
subsoil	o13	0.00	0.58	0.1122	1.0630	38.0000	-12.5380	0.1122	1987
subsoil	o14	0.00	0.38	0.0025	1.6860	0.3600	0.0570	0.0025	1994
subsoil	o15	0.00	0.43	0.0207	1.2240	57.4200	-2.0770	0.0207	1987
subsoil	o16	0.00	0.87	0.0179	1.2750	14.6600	0.5390	0.0179	1987
subsoil	o17	0.00	0.89	0.0145	1.2520	30.4500	1.0190	0.0145	1987
subsoil	o18	0.01	0.57	0.0138	1.2323	34.4500	-1.2040	0.0138	2001

BIJLAGE 2

NADERE BESCHRIJVING AANPAK

ONDERWATERDRAINAGE

2.1 UITGANGSPUNTEN

De uitgangspunten bij het toepasbaar maken van Waterwijzer Landbouw voor het berekenen van de effecten van onderwaterdrainage zijn:

- 1 De aanpak sluit aan bij de reguliere Waterwijzer Landbouw waarbij de specifieke aspecten op een verantwoorde maar niet onnodig ingewikkelde manier worden opgenomen.
- 2 De veenweide-eenheden die voorkomen binnen de provincie Utrecht en Zuid-Holland in de modelstudie door Hendriks en Van den Akker (2012) vormen de basis.
- 3 De belangrijkste afwijking van de reguliere benadering in Waterwijzer Landbouw is dat de zijrand voor de hydrologische modellering (drainage/infiltratie) en de onderrand (kwel/wegzijing) expliciet moeten worden gemodelleerd. Het inbrengen van onderwaterdrains gebeurt door toevoeging van een extra drainageniveau.
- 4 De effecten op de indirecte schade (door berijding en beweiding) worden meegenomen volgens fase 3 van het project Waterwijzer Landbouw.
- 5 Het bereik van de drooglegging moet zijn van 10 tot 70 cm. In eerste instantie wordt uitgegaan van berekeningen met een continu slootpeil, dus niet van een zomer- en winterpeil of een fluctuerend peil als gevolg van peilbeheer.
- 6 Eventueel wordt ook met een hoger zomerpeil gerekend, als blijkt dat dit een relevant effect heeft. Een typisch zomerpeil is 10 cm hoger dan het winterpeil en wordt gehandhaafd van 1 april tot 1 oktober.
- 7 De onderrand als kwel/wegzijing wordt eveneens gebaseerd op de bovengenoemde veenweide-eenheden. Hierbij moet worden afgetast of binnen het gehanteerde bereik ook de (vrij) sterke wegzijing voorkomt, zoals in peilvak 9 van de polder Groot-Wilnis Vinkeveen (Hendriks et al., 2014). Zo nodig wordt het bereik vergroot.
- 8 De grootste afwijking ten opzichte van de aanpak in Hendriks en Van den Akker (2012) en Hendriks et al. (2014) is de koppeling van SWAP met het gewasgroeimodel WOFOST.
- 9 Vanwege de grote zuurstofvraag in combinatie met de natte omstandigheden en het effect van onderwaterdrains daarop moet de huidige versie van de zuurstofmodule in SWAP goed worden beoordeeld op de bruikbaarheid voor veenweiden.
- 10 De effecten van onderwaterdrainage op de stikstofhuishouding en daarmee op de gewasgroei worden niet meegenomen.
- 11 Omdat veenweiden doorgaans niet worden beregend, wordt zoutschade als gevolg van beregning met zout of brak water niet meegenomen.
- 12 De klimatologische basis wordt gevormd door een 30-jarige periode op basis van de weerreeks van 1981-2010. Naast het huidige klimaat wordt binnen Waterwijzer gerekend voor drie klimaatscenario's: GH, WL en WH (zie figuur 4.5).

Een groot deel van de bovengenoemde uitgangspunten heeft consequenties voor de te volgen aanpak. Die consequenties noemen we hier.

ad uitgangspunt 1 Metarelaties worden op dezelfde manier afgeleid als in de reguliere Waterwijzer Landbouw, met aanpassingen voor de specifieke elementen van de hier beschreven aanpak.

ad uitgangspunt 2 Omdat de onderrand nu als verklarende variabele wordt meegenomen (ad 3) vervalt deze als onderscheidend kenmerk van de veenweide-eenheden. Er blijven dan vier van de elf hydrologische eenheden over (zie tabel B2.1). Uit de argumenten voor beperking van het aantal eenheden in Alterra-rapport 2354 volgt dat (in deze fase) dit aantal voldoende is.

TABEL B2.1

BESCHRIJVING VAN DE VIER BESCHOUWDE HYDROLOGISCHE EENHEDEN

Nummer	Veensoort	Veendikte	Kleidek
1	eutroof	2,5 m	nee
2	eutroof	2,5 m	ja
3	eutroof	5 m	nee
4	eutroof	5 m	ja

ad uitgangspunt 3 De impliciete benadering met q - h -relaties wordt vervangen door een expliciet gemodelleerde zijrand en onderrand. Sturend voor drainage en infiltratie zijn drainage- en infiltratieweerstanden en slootpeil, en voor kwel/wegzijging de weerstand voor verticale stroming en de stijghoogte (opgelegd met sinusvormig verloop in het jaar). De benadering met q - h -relaties is wel mogelijk, maar maakt het zeer lastig om directe vergelijkingen te maken tussen 'wel onderwaterdrainage' en 'niet onderwaterdrainage' en tussen droogleggingen onderling.

ad uitgangspunt 5 We rekenen met de 'basic drainage'-module en niet met de 'extended drainage'-module, dus zonder berekening van de oppervlaktewaterbalans. Drainage- en infiltratieweerstanden zijn constanten voor de vier eenheden en worden afgeleid uit de studie door Hendriks en Van den Akker (2012). De weerstanden van onderwaterdrains worden aangepast aan de gekalibreerde waarden van de pilots onderwaterdrainage. Het slootpeil (de drooglegging) is de verklarende variabele in de metamodellen en wordt voor alle vier hydrologische eenheden gevarieerd binnen het bereik 10-70 cm-mv.

ad uitgangspunt 6 Om het effect te bepalen van het instellen van een zomerpeil wordt voor drie situaties, waarin gevoeligheid is gebleken voor droogteschade, een berekening uitgevoerd met een 10 cm hoger zomerpeil in de periode 1 april tot 1 oktober. Het betreffende uitgangspeil is dan winterpeil geworden. Hierbij wordt in de resultaten uiteraard ook gekeken naar de effecten op natschade.

ad uitgangspunt 7 De analyse van de onderrand in Hendriks en Van den Akker (2012) wordt gebruikt om een beschrijving van de onderrand door één verklarende variabele af te leiden, namelijk de jaargemiddelde kwelflux op dagbasis. De parameterwaarden om het sinusvormige verloop van de stijghoogte in het jaar te beschrijven worden gebaseerd op de waarden uit tabel E.5 van bijlage E in het rapport.

ad uitgangspunt 8 De waarden van invoerparameters voor WOFOST-gras en de resultaten van de berekeningen hiermee worden in samenwerking met Idse Hoving (Livestock Research) verkregen respectievelijk beoordeeld. Uitgangspunt hierbij vormt de simulatie voor experimenten van Zegveld zoals gedaan in een eerdere fase van Waterwijzer Landbouw.

ad uitgangspunt 9 De combinatie van natte veenweidebodems met de grote zuurstofvraag vergt een zuurstofmodule om zuurstofstress van het gewas te berekenen die deze aspecten in zich heeft. Het gaat dan om de vraag van organische stof uit mest en veen en om ammonium uit N-mineralisatie en mest, en (eventueel) pyrietoxidatie, en om levering van de alternatieve elektronenacceptoren nitraat en sulfaat. Uitgangspunt bij het analyseren van de realiteitswaarde voor veenweiden van de zuurstofmodule wordt de simulering van Zegveld zoals gedaan in een eerdere fase van Waterwijzer Landbouw.

2.2 REKENRUNS VOOR VEENWEIDEN MET ONDERWATERDRAINAGE

De stappen hierin zijn:

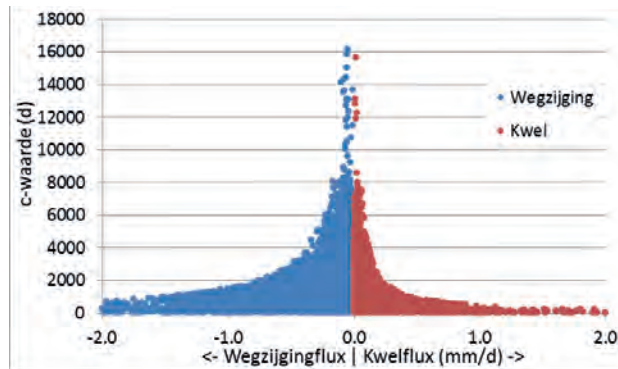
- 1 de bestaande parametrisatie van de vier hydrologische eenheden geschikt maken voor deze studie;
- 2 het afleiden van relaties voor de onderrand;
- 3 het analyseren van de WOFOST-parametrisatie van Zegveld om te komen tot een definitieve parametrisatie, en
- 4 het analyseren van de parametrisatie van Zegveld voor de zuurstofmodule om te komen tot definitieve parametrisatie.

Er wordt steeds een 30-jarige periode doorgerekend op basis van de weerreeks van 1981-2010. Hierbij worden de vier reguliere klimaatscenario's GL (huidig), GH, WL en WH binnen Waterwijzer Landbouw doorgerekend, zie figuur 4.5.

De onderrand als kwel/wegzijging wordt beschreven met de jaargemiddelde kwelflux op dagbasis, zie **uitgangspunt 7**. De procedure van het afleiden van de onderrandvoorwaarde is als volgt:

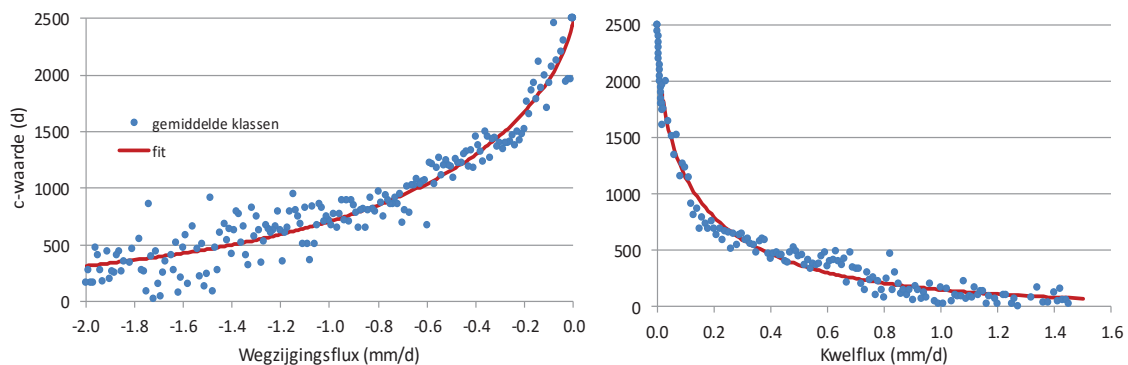
- 1 Omdat onderwaterdrains een grote invloed hebben op kwel en wegzijging moest een onderrandvoorwaarde worden gekozen die realistisch reageert op het toepassen van onderwaterdrains. Dit is een onderrandvoorwaarde met een stijghoogte in het eerste watervoerende pakket en een deklaagweerstand (c-waarde), waaruit SWAP in samenhang met de berekende grondwaterstand – waarin onderwaterdrains tot uitdrukking komen - een flux berekent.
- 2 Uitgangspunt 7 is dat de kwelflux de verklarende variabele is voor de onderrand. Die moet in de metamodellen kunnen worden opgelegd.
- 3 Vanwege punt 1 impliceert punt 2 dat uit de opgegeven kwelflux een stijghoogte en een c-waarde afgeleid moeten worden.
- 4 Omdat hiervoor een schier oneindig aantal combinaties mogelijk is, is gekozen voor een procedure die uitgaat van een 'gemiddelde situatie'. Daartoe zijn de twee belangrijkste keuzen gemaakt: de relatie tussen kwelflux enerzijds en weerstand en stijghoogte anderzijds is afgeleid
 - a op basis van een gemiddelde relatie tussen kwelflux en c-waarde die uit NHI-gegevens is af te leiden voor de westelijke veenweiden;
 - b voor een standaard drooglegging van 50 cm en wordt toegepast voor alle andere droogleggingen. Dit is verantwoord omdat ook de drooglegging via de grondwaterstand de kwelflux beïnvloedt op een realistische manier, aannemende dat de stijghoogte niet verandert.
- 5 Afleiden van de gemiddelde relatie tussen c-waarde en kwelflux. In figuur B2.1 zijn alle beschikbare c-waarden uitgezet tegen de bijbehorende onderrandflux (bron: Hendriks en Van den Akker, 2012).

FIGUUR B2.1 C-WAARDE UITGEZET TEGEN ONDERRANDFLUX UIT HET NHI VOOR WESTELIJKE VEENWEIDEN



De vorm van de puntenwolk geeft in zoverre een realistisch en consistent beeld dat de bovenbegrenzing aangeeft dat hoge weerstanden samengaan met kleine positieve of negatieve fluxen. Maar het fitten van relaties voor kwel en wegzijging door de puntenwolk geeft geen realistisch resultaat. Daarom is de puntenwolk verdicht door uit te gaan van kwel/wegzijgingsklassen met een breedte van 0,01 mm/d en de gemiddelde c-waarde per klasse. Figuur B2.2 geeft de resultaten hiervan.

FIGUUR B2.2 C-WAARDE UITGEZET TEGEN ONDERRANDFLUX UIT HET NHI VOOR WESTELIJKE VEENWEIDEN, UITGAANDE VAN KWEL/WEGZIJGINGSKLASSEN MET EEN BREEDTE VAN 0,01 MM/D EN EEN GEMIDDELTE C-WAARDE PER KLASSE



De rode lijn in figuur B2.2 heeft de volgende vergelijking:

$$Y = a \cdot e^{b|q|^c} + d \quad (\text{B2.1})$$

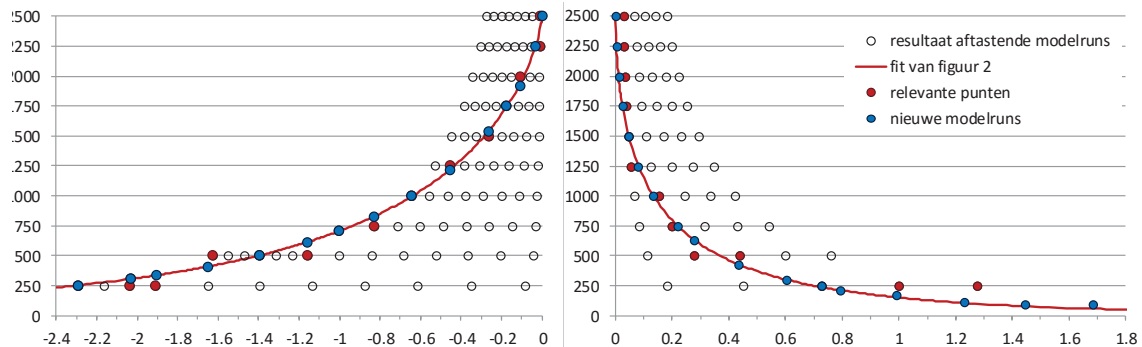
met $y = c$ -waarde en $q =$ onderrandflux. Parameters a , b en c zijn vormfactoren en $d = 0$. Zie ook tabel B2.2. De *root mean squared error* (RMSE) bij kwel is 97 d en bij wegzijging 147 d.

- 6 Het is niet zeker dat SWAP voor de vier veenweide-eenheden de rode lijn uit figuur B2.2 ook kan realiseren. Daarom zijn aftastende berekeningen gedaan met SWAP voor de volgende eenheid: 5 m dik veen zonder kleidek en 50 cm drooglegging zonder onderwaterdrainage. Hierbij is de stijghoogte h in de vorm van een sinus opgelegd met een amplitude van 10 cm en een verschuiving (dag in jaar met topwaarde van h) van 20 dagen, waarden die zijn afgeleid van Hendriks en Van den Akker (2012). De basislijn van de sinus is de gemiddelde stijghoogte h . SWAP is voor verschillende combinaties van h en c -waarde doorgerekend voor 30 weerjaren (1981-2010) en de gemiddelde kwel-wegzijgingsflux is steeds als resultaat berekend. Dat geeft het beeld van figuur B2.3 (open rondjes). Vervolgens zijn de relevante modelruns gezocht die dicht bij de gefitte lijn liggen (rode rondjes). Daarmee zijn nieuwe paren van h en c -waarde

gezocht door combinaties van q (kwelflux) en c -waarde van de rode lijn af te lezen en daaruit een nieuwe h te berekenen volgens $h = q * c\text{-waarde} - 47 \text{ cm} + \text{mv}$. Dat laatste getal is de jaargemiddelde grondwaterstand bij een drooglegging van 50 cm, volgens de relatie van Schothorst (Wind, 1986) voor westelijke veenweiden.

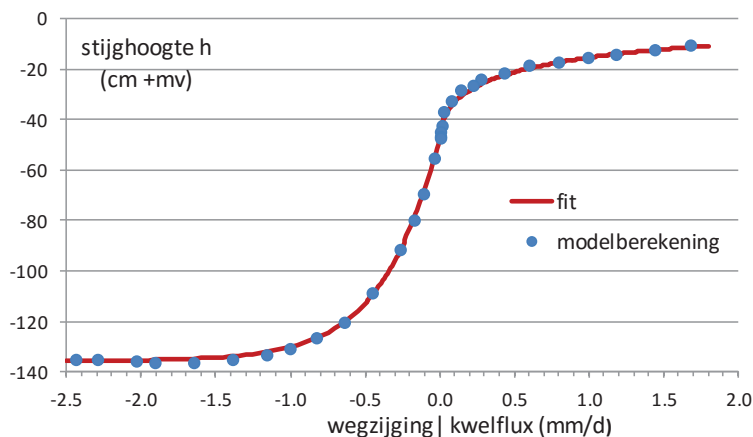
Deze combinaties zijn opnieuw met SWAP doorgerekend en de 30-jarig gemiddelde berekende flux (blauwe rondjes) zijn vergeleken met de fit. Hieruit is geconcludeerd dat de fit goed voldoet voor deze veenweide-eenheid.

FIGUUR B2.3 RESULTATEN VAN DE ITERATIEVE CONTROLE OF DE OP DE NHI-GEGEVENS GEFITTE RELATIES TUSSEN C -WAARDEN EN KWEL-WEGZIJGINGSFLUXEN WEL DOOR SWAP ZIJN TE REALISEREN VOOR VEENWEIDE-EENHEID 5 M DIK VEEN ZONDER KLEIDEK 50 CM DROOGLEGGING ZONDER OWD. ASSEN ALS IN FIGUUR B2.2, SOMMIGE RODE RONDJES DIE AL OP DE LIJN LAGEN ZIJN BEDEKT DOOR BLAUWE.



- 7 Voor de andere drie veenweide-eenheden is een vergelijkbare aanpak gevolgd vanaf het punt dat de selectie van blauwe rondjes was gedaan, dus op basis van de combinaties van stijghoogte en c -waarde die bij de eerste veenweide-eenheid zijn doorgerekend ter controle. Bij deze drie veenweide-eenheden zijn deze combinaties doorgerekend met SWAP, zijn de uitkomsten als c -waarden uitgezet tegen de 30-jarig gemiddelde kwelflux en is er een curve volgens vergelijking B2.1 door gefit. Figuur B2.4 en tabel B2.2 geven de resultaten hiervan.

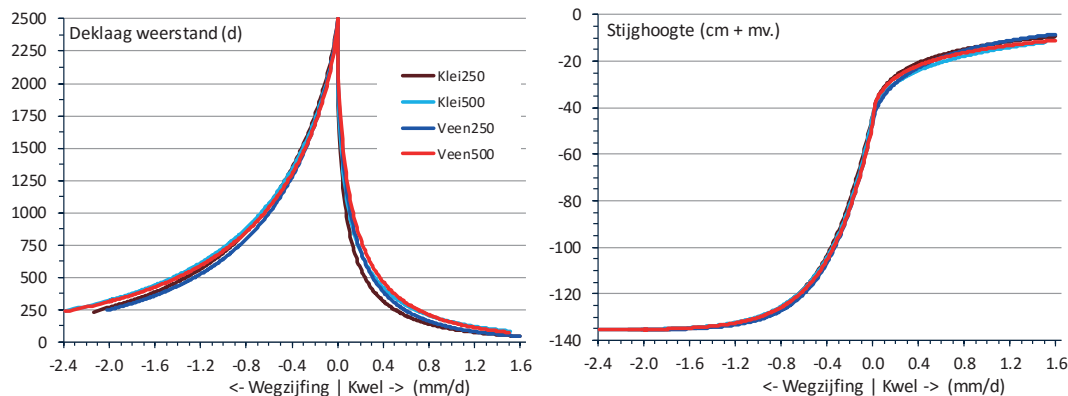
FIGUUR B2.4 GEFITTE RELATIES TUSSEN STIJGHOOGTE EN KWEL-WEGZIJGINGSFLUXEN VOOR VEENWEIDE-EENHEID 5 M DIK ZONDER KLEIDEK



- 8 Naast de relatie tussen c -waarde en kwelflux is per veenweide-eenheid ook een relatie tussen stijghoogte en kwelflux nodig. Daarvoor zijn dezelfde modelberekeningen gebruikt als voor punten 6 en 7, maar nu is een relatie gefit door de punten van de stijghoogte als relatie van de kwelflux. Voor de veenweide-eenheid 5 m dik veen zonder kleidek is weer de fit gegeven (figuur B2.4). Nu in één fit, maar de relaties zijn weer apart gefit voor kwel en wegzijging. Tabel B2.2 geeft de waarden van gefitte parameters.
- 9 Voor de andere drie veenweide-eenheden is hetzelfde gedaan. In figuur B2.5 zijn alle rela-

ties grafisch vergeleken en alle gefitte parameterwaarden zijn samengevat in tabel B2.1. Verschillen tussen veenweide-eenheden lijken klein, maar zijn dat alleen maar echt voor de stijghoogten, vooral bij wegzijging.

FIGUUR B2.5 GEFITTE RELATIES TUSSEN C-WAARDE EN KWEL-WEGZIJGINGSFLUXEN, EN TUSSEN STIJGHOOGTE EN KWEL-WEGZIJGINGSFLUXEN VOOR ALLE VIER VEENWEIDE-EENHEDEN (250 =2,5 M, 500 =5 M DIK; KLEI = MET KLEIDEKJE)



TABEL B2.2 PARAMETERWAARDEN VAN VERGELIJKING (B2.1). RMSE'S VOOR DE C-WAARDEN BIJ 5 M VEEN ZIJN BEREKEND OP BASIS VAN 200 EN 153 PUNTEN, BIJ DE REST OP BASIS VAN 17 PUNTEN

Veenweide-eenheid	Bereik q (mm/d)	Y = C-waarde (d)				Y = Stijghoogte (cm +mv)				
		a	b	c	RMSE	a	b	c	d	RMSE
Klei 2,5 m	$-2.0 < q \leq 0$	2500	-1.285	0.797	15	91.6	-2.845	1.086	-135.6	0.9
	$0 < q < 1,6$	2500	-3.214	0.482	27	-47.5	-1.299	0.487	0	1.3
Klei 5 m	$-2.0 < q \leq 0$	2500	-1.230	0.738	18	91.7	-2.756	1.024	-135.7	0.9
	$0 < q < 1,6$	2500	-2.783	0.485	23	-44.0	-1.033	0.579	0	1.3
Veen 2,5 m	$-2.0 < q \leq 0$	2500	-1.356	0.763	18	88.2	-2.985	1.076	-135.7	0.8
	$0 < q < 1,6$	2500	-3.105	0.558	14	-47.5	-1.301	0.618	0	1.3
Veen 5 m	$-2.0 < q \leq 0$	2500	-1.264	0.718	157	88.2	-2.760	1.034	-135.7	0.8
	$0 < q < 1,6$	2500	-2.805	0.559	97	-47.5	-1.182	0.458	0	1.1