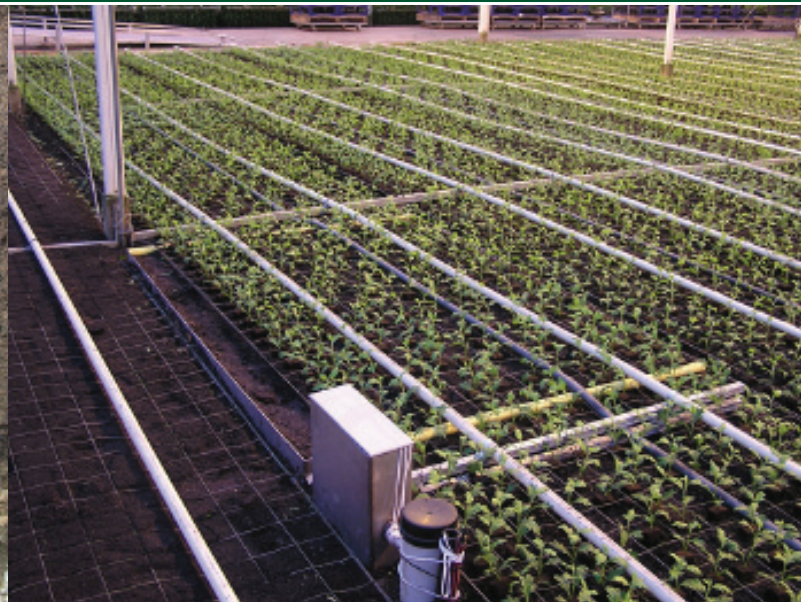
ALTERRA
WAGENINGEN UR



Ontwikkeling emissiemanagementsysteem grondgebonden teelt; modellen

Alterra-rapport 2369
ISSN 1566-7197

Marius Heinen, Falentijn Assinck, Wim Voogt, Gert-Jan Swinkels en Jos Balendonck

WAGENINGEN UR
For quality of life

Productschap Tuinbouw

Agentschap NL
Ministerie van Economische

Ontwikkeling emissiemanagementsysteem grondgebonden teelt; modellen

HortiMax growing solutions

Hoogheemraadschap van Delfland

LTO Groeiservice

waterschap Hollandse Delta leefbaar land, leefbaar water

Waterschap Rivierenland

waterschap Hollandse Delta leefbaar land, leefbaar water

Waterschap Peel en Maasvallei

HOOGENDOORN GROWTH MANAGEMENT

hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

PRIVA

Ontwikkeling emissiemanagementsysteem grondgebonden teelt; modellen

Marius Heinen[1], Falentijn Assinck[1], Wim Voogt[2], Gert-Jan Swinkels[2]en Jos Balendonck[2]

1 Alterra Wageningen UR
2 Wageningen UR Glastuinbouw

Alterra-rapport 2369

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2013

Referaat

Marius Heinen, Falentijn Assinck, Wim Voogt, Gert-Jan Swinkels en Jos Balendonck, 2013. *Ontwikkeling emissiemanagement-systeem grondgebonden teelt; modellen.* Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2369. 74 blz.; 16 fig.; 8 tab.; 20 ref.

Referaat
In het project *Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden* is een emissiemanagementsysteem ontwikkeld voor de grondgebonden teelt in de glastuinbouw, bestaande uit: 1) een lysimeter en drainmeter, 2) bodemvochtsensoren, 3) modellen, en daarnaast 4) een toetsing in de praktijk. Dit achtergrondrapport gaat nader in op het onderdeel modellen. Op basis van metingen in de kas is de verdamping geschat met een bestaand verdampingsmodel. De berekende verdamping en gemeten irrigatie werden vervolgens doorgegeven aan een bodemmodel waarmee de vochttoestand in de bodem en de drainage onder in de lysimeter werden nagebootst. Deze werden vervolgens vergeleken met de gemeten watergehalten en drainage in de lysimeter. Verschillen in gemeten en gesimuleerde drainage worden toegeschreven aan de onzekerheid in de berekende verdamping. Daarom is de verdamping ook geschat uit de waterbalans over een lange periode. Hieruit zijn correctiefactoren voor het verdampingsmodel afgeleid. Voor de chrysantenteelt bleek dat de verdamping op de bedrijven in dit project met een factor 0.9 moet worden verlaagd.

Abstract
In the project *Glasshouse horticulture waterproof - soil based* an emission management system was developed for soil-based cropping systems in glasshouse horticulture. It consisted of four parts: 1) a lysimeter and drain meter, 2) soil water content sensors, 3) models, combined with 4) a practical test. This background report describes part three, models. Based on measurement inside the greenhouse the evapotranspiration was computed with an existing evapotranspiration model. The calculated evapotranspiration and the measured irrigation amount was supplied to a soil water movement model, which then simulated the changes in volumetric water content inside and the drainage at the bottom of the lysimeter. This outcome was compared to measured volumetric water contents and drainage amounts. Differences in measured and simulated drainage were ascribed to the uncertainty of the modelled evapotranspiration. Evapotranspiration was, therefore, also estimated from a water balance for a long period. Comparison of both estimates for evapotranspiration revealed that for the chrysanthemum crops in this project a correction factor of 0.9 should be applied in the evapotranspiration model.

Trefwoorden: glastuinbouw, chrysant, lysimeter, simulatiemodel, uitspoeling, water, stikstof, grondgebonden.

Dit rapport is ook verschenen als WageningenUR Glastuinbouw rapport GTB 1192.

ISSN 1566-7197

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

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

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

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

Alterra-rapport 2369
Wageningen, januari 2013

Inhoud

Woord vooraf 7

Samenvatting 9

1 Inleiding 11

2 Materiaal en methoden 13
- 2.1 Dataopslag (database) 14
- 2.2 Verdampingsmodel 15
  - 2.2.1 Transpiratie en bodemverdamping 17
  - 2.2.2 Alternatieve verdamping 17
- 2.3 Watergiftmodel en bijmestmodel 18
- 2.4 Bodemmodel 18
  - 2.4.1 Waterbeweging 18
  - 2.4.2 Wateropname 19
  - 2.4.3 Stikstoftransport 21
- 2.5 Bodemfysische eigenschappen 21
- 2.6 Watergehaltesensoren 25
- 2.7 Toepassing 25

3 Resultaten en discussie 31
- 3.1 Waterbalans 31
- 3.2 Watergehalte 37
- 3.3 Correctiefactor verdamping 48
- 3.4 Effect bodemfysische eigenschappen 52

4 Conclusies en aanbevelingen 55

Referenties 57

Bijlage 1 Exponentiële verdeling van de wortellengtedichtheid 59

Bijlage 2 Bodemprofielbeschrijvingen 61

Bijlage 3 Bodemfysische eigenschappen locatie WUR-Glastuinbouw, Bleiswijk 73

Woord vooraf

Dit achtergrondrapport is als derde deel verschenen in de eindrapportage van het project 'Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden'. Het project werd gefinancierd door het Productschap Tuinbouw (PT, Zoetermeer) met subsidie van Agentschap NL (ministerie van Milieu & Infrastructuur) in het kader van de 2e tender Regeling Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water. Het project is een samenwerkingsverband tussen onderzoeks- en kennisinstellingen en is ondersteund door een aantal partners vanuit de waterschappen en de tuinbouwtoelevering. De penvoering werd gedaan door het Productschap Tuinbouw, en de dagelijkse uitvoering vond plaats door de onderaannemers: Wageningen UR Glastuinbouw, Alterra Wageningen UR en LTO-Groeiservice. De volgende partners maakten deel uit van het project: de waterschappen Rivierenland, Peel- en Maasvallei, Hollandse Delta en de hoogheemraadschappen Delfland, Hollands Noorderkwartier, daarnaast de tuinbouwtoeleveringsbedrijven Hoogendoorn BV, Hortimax BV en Priva BV. Voor dit project was een begeleidingscommissie ingesteld; een voortzetting van de bestaande klankbordgroep uit de werkgroep emissienormen van het Platform Duurzame Glastuinbouw, aangevuld met enkele telers. De commissie bestond uit: Wouter Verkerke (vz)(Wageningen UR-glastuinbouw), Marianne Mul (Unie van Waterschappen), Guus Meijs (LTO Noord Glaskracht), Jolanda Schrauwen (Hoogheemraadschap Delfland), Martine Tieleman (gemeente Westland) Ruud Theunissen (min VWI), (Arno Krielen (Waterschap Rivierenland), Jos Ammerlaan (chrysantenteler, Bleiswijk), Jean Aerts (chrysantenteler, Venlo).

Experimenten werden uitgevoerd bij negen grondgebonden telers in de regio's Limburg, Brabant en Zuid-Holland. Op verzoek van de landelijke gewascommissies chrysanten- en sla/radijs zijn door het productschap tuinbouw nog twee kleinere aanpalende projecten gefinancierd om op een aantal extra chrysantenbedrijven en een slabedrijf het systeem te implementeren en te testen. De resultaten van die projecten worden in deze rapporten ook integraal meegenomen.
De looptijd van het project was beoogd van januari 2010 t/m dec 2011. Echter door vertragingen bij de gunning, zowel bij Agentschap als bij de co-financier Productschap Tuinbouw, is het project feitelijk pas in augustus 2010 gestart. Door verlenging kon worden doorgegaan met de implementatie, toepassing en toetsing tot en met juni 2012. Daarna is nog een periode aan de rapportage gewerkt. Hoofdlijn van het project was het ontwikkelen van een emissiemanagementsysteem voor de grondgebonden teelten en dit vervolgens te toetsen in de praktijk.

De rapportage is uitgevoerd op de vier hoofdlijnen in het project:
1) Ontwikkeling en testen van de lysimeter en bijbehorende drainmeter.
2) Ontwikkelen van een systeem voor de datacommunicatie en toepassing van bodemvochtsensoren.
3) Toepassing van rekenkundige modellen in het emissiemanagementsysteem.
4) Toepassing van het emissiemanagementsysteem op praktijkbedrijven.

De werkzaamheden waarover in deze rapporten wordt gerapporteerd zijn mede tot stand gekomen in samenwerking met de volgende personen:
Frank van der Helm, Jan Janse, Hans Janssen en Gert-Jan Swinkels, medewerkers Wageningen UR-glastuinbouw,
Simone Verzandvoort, Willy de Groot, Gerben Bakker, Henk Vroon, Jan Wesseling, en Klaas Oostindie, medewerkers van Alterra.
Jos Ammerlaan, Jaap van den Beukel, Jan van Dijk, Nico Enthoven, Henk Gommans, Hans van Helvoort, Peter Janssen, Frank de Koning, Erik Kuiper, Leo Verbeek, Harry Vousten, allen telers c.q bedrijfsleiders.
Margreet Schoenmakers, John van der Knaap, Aad Vernooy en Kees Zuidgeest, allen medewerkers LTO-groeiservice.
De telers en bedrijfsleiders van de negen bedrijven worden bedankt voor hun gastvrijheid en medewerking.

Samenvatting

In het project 'Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden' is een emissiemanagementsysteem ontwikkeld voor de grondgebonden teelt in de glastuinbouw, bestaande uit: 1) lysimeter en drainmeter, 2) bodemvocht-sensoren, 3) modellen, daarnaast is er 4) een praktijktest. Dit achtergrondrapport gaat nader in op het onderdeel modellen. Op basis van metingen in de kas werd de verdamping geschat met een bestaand verdampingsmodel. De berekende verdamping en gemeten irrigatie werden vervolgens doorgegeven aan een bodemmodel waarmee de vochttoestand in de bodem en de drainage onder in de lysimeter werden gesimuleerd. Deze werden vervolgens vergeleken met de gemeten watergehalten en drainage in de lysimeter. Verschillen in gemeten en gesimuleerde drainage werden toegeschreven aan de onzekerheid in de berekende verdamping. Daarom is de verdamping ook geschat uit de waterbalans over een lange periode. Hieruit zijn correctiefactoren voor het verdampingsmodel afgeleid.

De onderdelen van het emissiemanagement systeem waarbij gemeten grootheden worden ingelezen en opgeslagen in een database en grafisch worden weergegeven functioneren goed. Eventueel ontbrekende gegevens verstoren hierbij niet en leiden alleen tot ontbrekende gegevens in de grafische weergave.

Verschillen in watergehalte dan wel verschillen in watergehalte-trends binnen en buiten de lysimeter kunnen veroorzaakt worden door:

a) mogelijke capillaire opstijging buiten de lysimeter die in de lysimeter niet mogelijk is waardoor de lysimeter uit kan drogen;
b) een diepe grondwaterstand buiten de lysimeter waardoor verschillende vochttoestanden heersen binnen en buiten de lysimeter; dit kan betekenen dat de stikstofprocessen binnen en buiten de lysimeter anders verlopen, waardoor de stikstofuitspoeling in de lysimeter niet representatief is voor de situatie buiten de lysimeter.

Als over een lange periode de bergingsverandering in het bodemprofiel (lysimeter) verwaarloosbaar klein is en er regelmatig drain is geregistreerd in die periode, dan kan de verdamping geschat worden uit de waterbalans: irrigatie minus drain. Deze kan worden vergeleken met de geschatte verdamping uit het verdampingsmodel, hetgeen een correctiefactor oplevert voor het verdampingsmodel. Uit de metingen is gebleken dat de bergingsverandering per teelt niet altijd gelijk is aan nul. Dus moet een voldoende lange periode gekozen worden (bijvoorbeeld een jaar). Voor de chrysantenteelt op de bedrijven in dit project bleek dat de verdamping met een factor 0.9 moet worden verlaagd.

Telers hebben vaak meerdere teelten op hun bedrijf staan in verschillende fases, zoals bijvoorbeeld in de chrysantenteelt. De watergeefbeurt in die teeltvakken kan dan niet één-op-één gekopieerd worden van het teeltvak waar de lysimeter staat. Door de hoge investerings- en onderhoudskosten kunnen sensoren en lysimeters ook maar in één of hooguit enkele teeltvakken geïnstalleerd worden. Het emissiemanagement-systeem biedt dan de mogelijkheid om modellen voor gewasverdamping en bodemuitspoeling in te zetten in de teeltvakken zonder monitoring, maar die dan wel de situatie beschrijft behorende bij het teeltstadium in het betreffende teeltvak. De kennis die de teler opdoet in het vak met de lysimeter/drainmeter en de vochtsensoren kan ingevoerd worden in die modellen in parametervorm, waardoor ook de andere teeltvakken optimaal geïrrigeerd of gefertigeerd kunnen worden.

Het systeem van een lysimeter om de uitspoeling te minimaliseren werkt het beste als er een steeds kleinere drain wordt gerealiseerd, immers alleen dan heeft de teler het systeem onder controle. Het realiseren van geen drain kan tot te droge situaties leiden in de kasgrond en zoutophoping, met kans op nadelige gevolgen voor het gewas. In elk geval verdient het sterk de aanbeveling watergehaltesensoren op twee diepten binnen en buiten de lysimeter te gebruiken om al in een vroeg stadium via trendanalyse te kunnen zien of de gehanteerde watergeefstrategieleidt tot constante vochtomstandigheden, vernatting of uitdroging in de bodem.

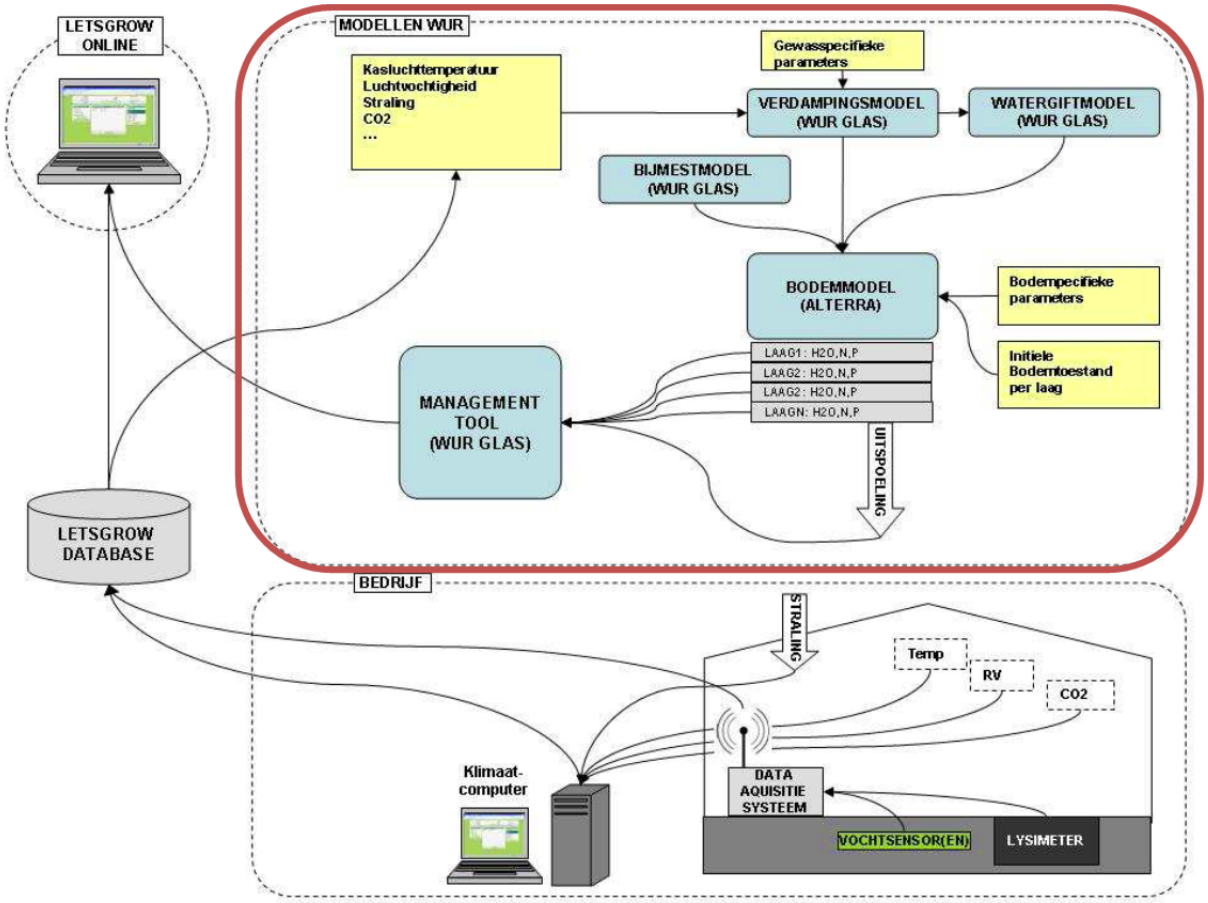
1 Inleiding

De algemene doelstelling van het project *Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden* is systemen te leveren waarmee de gebruiker (teler) in staat gesteld wordt meer inzicht te krijgen in de waterstromen in de bodem. Hiermee kan het watermanagement verbeterd worden uit teeltkundig oogpunt en/of kan de uitspoeling verminderd worden. Centraal in het project staat de lysimeter (figuur 1; Voogt et al., 2012a), een afgesloten bak in de kasgrond, waarmee de lokale waterbalans kan worden geregistreerd. Aanvullend kunnen watergehaltesensoren (figuur 1; Balendonck et al., 2012) in en buiten de lysimeter gebruikt worden. De gegevens van de lysimeter en de watergehaltesensoren zijn mogelijk op zichzelf niet altijd goed te interpreteren. Door de gegevens te koppelen aan overige informatie (klimaat, verdamping) kan een beter totaalbeeld worden verkregen over de waterbalans in een kas. Om dat koppelen te stroomlijnen is in het project *Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden*) er voor gekozen om een zogenaamd emissiemanagementsysteem op te zetten. In dit achtergrondrapport worden de verschillende onderdelen van het emissiemanagementsysteem nader omschreven en worden ook enkele voorbeelden uit de praktijk getoond en besproken.

Figuur 1
Plaatsing lysimeterbakken op een bedrijf en voorbeeld van een watergehaltesensor.

2 Materiaal en methoden

In het project *Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden* zijn de volgende onderdelen te onderscheiden. Centraal staat de kas van de teler. In de kas is een lysimeter geplaatst om zowel het beregeningsoverschot als het drainwater te kunnen registreren (Voogt et al., 2012a). Daarnaast zijn er watergehaltesensoren geplaatst binnen en buiten de lysimeter om de vochttoestand in de grond te kunnen monitoren (Balendonck et al., 2012). De meetgegevens, aangevuld met klimaat- en kasgegevens, worden centraal opgeslagen in een database. Het laatste onderdeel bestaat uit het emissiemanagementsysteem. Figuur 2 geeft een schematische beeld van de verschillende onderdelen in het project *Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden*. De verbindingslijnen tussen de diverse onderdelen geven de datastromen weer.



Figuur 2.

De positie van het emissiemanagementsysteem (rood omkaderd) in het project 'Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden'.

Voor het uitlezen van alle units bij de negen telers is in Bleiswijk (Wageningen UR-Glastuinbouw) een PC met analoog modem opgesteld. Voor deze PC is op basis van MATLAB software en met een door DeltaT-Devices geleverde DLL een routine gemaakt die alle telers vier keer per dag (om de 2, 8, 14 en 20 uur) afbelt en de data ophaalt en op de lokale WUR-server plaatst, en ook meteen worden doorgegeven naar de Letsgrow

server. Foutmeldingen (ontbrekende data, storingen, lage batterij-spanning, niet bereikbaar zijn van modems e.d.) werden daarbij per e-mail naar de beheerder gestuurd. De data werd lokaal in de PC door de DLL in een 'cache' geheugen bewaard zodat alle data maar eenmalig over de GSM-lijn verzonden hoefde te worden, ook nadat er meerdere malen ingebeld werd. De WUR-server startte eenmaal per dag (na twee uur 's nachts) het modellen-algoritme. Eerst werd daartoe alle relevante data van de Letsgrow server gehaald (data werd lokaal 'gecached' zodat ook de communicatie met de Letsgrow server beperkt kon worden). Vervolgens startte het model, en de resultaten werden daarna weer doorgegeven naar Letsgrow. Meer details over de datacommunicatie zijn te lezen in Balendonck et al. (2012).

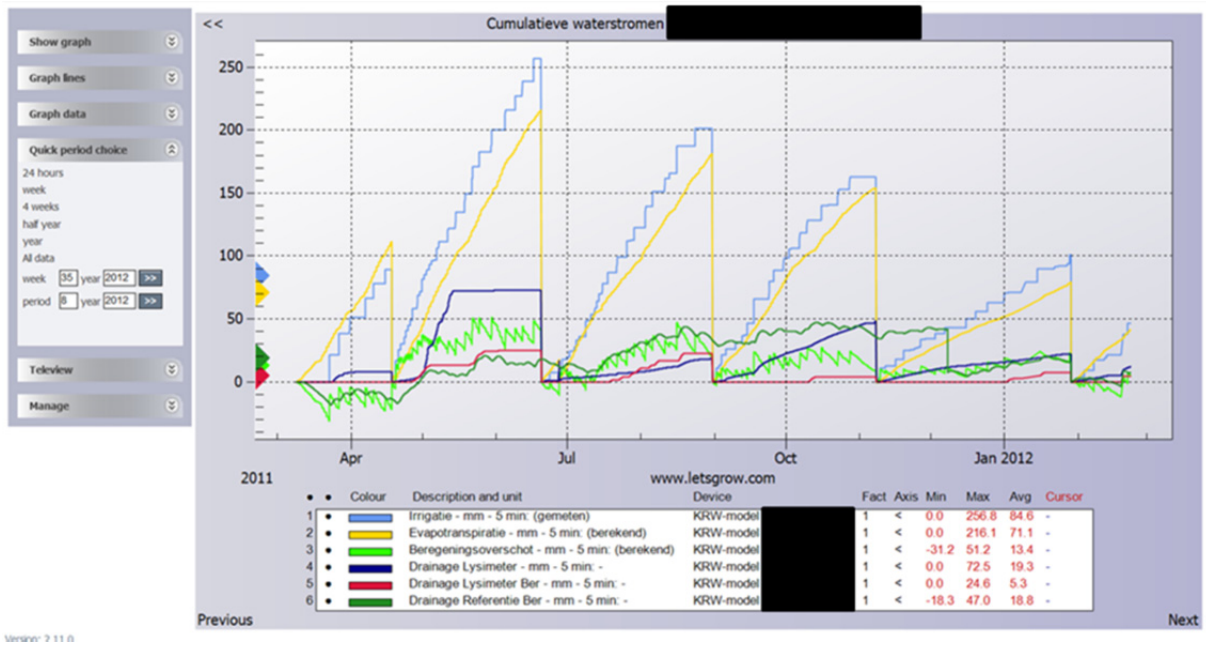
2.1 Dataopslag (database)

De meetgegevens en de berekende gegevens in dit project voor alle deelnemende bedrijven werd centraal in een database opgeslagen. In dit project is gewerkt met LetsGrow (www.letsgrow.com), maar dat is geen vereiste. Het voordeel van LetsGrow was dat de gegevens ook onderling tussen de bedrijven konden worden bekeken, via zogenaamde 'meekijk accounts'. Tabel 1 geeft een overzicht van de type gegevens die per bedrijf zijn opgeslagen. Figuur 3 geeft een voorbeeld weergave van gegevens in LetsGrow.

Tabel 1

Overzicht gemeten en berekende gegevens die per bedrijf in de centrale database zijn opgeslagen.

Grootheid	Eenheid	Gemeten, berekend	Doel	Opmerking
Straling	W m^{-2} (= J m^{-2} s^{-1})	gemeten	invoer berekening verdamping	
Assimilatiebelichting	W m^{-2}	gemeten	invoer berekening verdamping	
Kastemperatuur	^{0}C	gemeten	invoer berekening verdamping	
Buistemperatuur van verwarmingsnet(ten)	^{0}C	gemeten	invoer berekening verdamping	
Relatieve luchtvochtigheid in kas	%	gemeten	standaard gegeven kasklimaat	
CO_2 gehalte in de kas	ppm	gemeten	standaard gegeven kasklimaat	
Irrigatie (beregening)	mm (= L m^{-2})	gemeten	monitoren waterbalans	
Irrigatie (druppel)	mm	gemeten	monitoren waterbalans	
Drain in lysimeter	mm	gemeten	monitoren waterbalans	
Watergehalte (op volumebasis)	%	gemeten	monitoren verloop watergehalte in de bodem	drie diepten in de lysimeter en drie diepten buiten de lysimeter
Verdamping	mm	berekend	monitoren waterbalans	
Beregeningsoverschot	mm	berekend	monitoren waterbalans	
Drain in lysimeter: simulatie	mm	berekend	monitoren waterbalans	
Watergehalte (op volumebasis): simulatie	%	berekend	monitoren verloop watergehalte in de bodem	drie diepten in de lysimeter en drie diepten buiten de lysimeter



Figuur 3

Screendump van een voorbeeldweergave in LetsGrow.

2.2 Verdampingsmodel

In de glastuinbouw wordt veelvuldig water gegeven op basis van een berekende verdamping. Hier is gebruik gemaakt van het verdampingsmodel, dat oorspronkelijk door De Graaf en Van den Ende (1981) is afgeleid uit onderzoek met lysimeters. De verdamping is een functie van de globale straling, kastemperatuur, buistemperatuur en het gewasstadium (zie ook De Graaf en Spaans, 1989; Voogt et al., 2000; Voogt et al., 2002):

$$ET = \sum_{i=0}^{t} \left(aR_i + b\left|T_{\text{buis}} - T_{\text{kas}}\right|_i \right) \frac{L_i}{L_{\max}} \qquad [1]$$

waarbij

ET	cumulatieve verdamping, evapotranspiratie	mm
t	tijd in minuten sinds $t = 0$	min
R	globale stralingssom tot aan tijdstip t buiten de kas gemeten aangevuld met straling via assimilatiebelichting[1]	J cm^{-2}
T_{buis}	buistemperatuur	^{0}C
T_{kas}	kastemperatuur	^{0}C
$\lvert T_{\text{buis}} - T_{\text{kas}} \rvert$	absolute temperatuurverschil	^{0}C
a	empirische gewasfactor voor stralingseffect	mm cm^2 J^{-1}
b	empirische gewasfactor voor stookinvloed	mm ^{0}C^{-1}
L	actuele gewaslengte	m
$L_{\max}$	maximale gewaslengte	m

[1] Bij chrysanten worden schermen gehanteerd waardoor het daglicht beïnvloed wordt. Dit wordt met de vereiste daglengte van chrysant verrekend. Voor overige gewassen wordt deze correctie niet gebruikt.

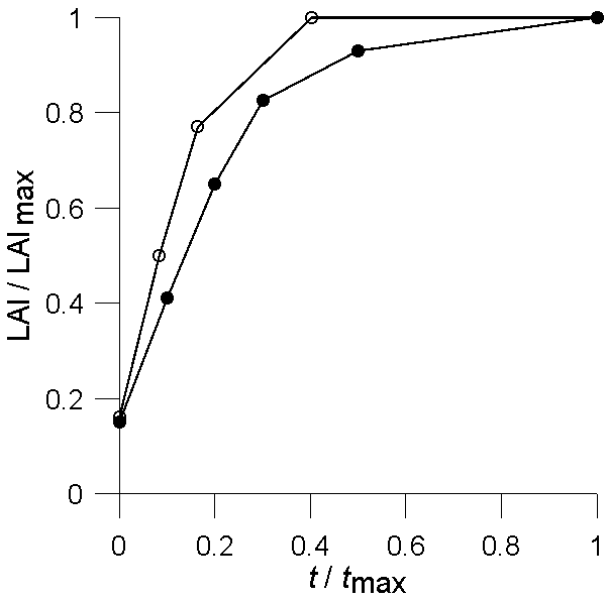
Sinds de ontwikkeling van dit model zijn de waarden van de parameters *a* en *b* aangepast ter correctie voor veranderende kastransmissie en diameter verwarmingsbuizen. De waarden voor *a* en *b* zoals gebruikt in deze studie zijn vermeld in tabel 2. Volledigheidshalve wordt hier vermeld dat het verdampingsmodel recent is geherformuleerd (Voogt et al., 2012c); echter, in dit project is de versie zoals hier gegeven gebruikt.

Tabel 2

Gebruikte waarden voor de verdampingsparameters a en b.

Gewas	*a* (mm cm^2 J^{-1})	*b* (mm ^{0}C^{-1})
Chrysant	1.8 10^{-3}	1.8 10^{-5}
Violier	1.8 10^{-3}	1.8 10^{-5}
Trachelium	1.8 10^{-3}	1.8 10^{-5}
Sla	1.8 10^{-3}	1.8 10^{-5}
Tomaat	1.8 10^{-3}	1.8 10^{-5}
Paprika	1.8 10^{-3}	1.8 10^{-5}

De gegevens over straling, assimilatiebelichting, buistemperatuur en kastemperatuur worden geregistreerd op de klimaatcomputer van het bedrijf, en zijn in het kader van dit project beschikbaar gemaakt in een centrale database. De actuele gewaslengte *L* is niet gemeten. In deze studie is de relatieve gewaslengte L/L_{max} gelijk gesteld aan de relatieve LAI, LAI/LAI_{max}. Het verloop van LAI/LAI_{max} als functie van de relatieve groeiperiode (t/t_{max}) is vooraf per gewas vastgesteld (expertkennis). Figuur 4 toont het veronderstelde verloop als functie van de relatieve groeiperiode voor chrysant en voor vruchtgroenten.



Figuur 4

Verloop van LAI/LAI_{max} als functie van de tijd t/t_{max} voor chrysant (dichte symbolen) en vruchtgroenten (open symbolen), waarbij t_{max} de eindtijd van de teelt is (ca. twee maanden voor chrysant; ca. elf maanden voor vruchtgroenten) en LAI_{max} is de maximale waarde van LAI die wordt bereikt.

2.2.1 Transpiratie en bodemverdamping

De berekende verdamping ET is de totale verdamping door het gewas en de verdamping vanuit de bodem aan het bodemoppervlak:

$$ET = E + T \qquad [2]$$

waarbij

E	bodemverdamping	mm
T	gewasverdamping of transpiratie	mm

Bij het gebruik van het bodemmodel (zie later) is het nodig om zowel E als T te kennen. Op basis van de LAI (zie hierboven) wordt T berekend als

$$T = ET\left(1 - \exp\left[-0.6\mathrm{LAI}\right]\right) \qquad [3]$$

en E volgt dan uit

$$E = ET - T \qquad [4]$$

Voor braak situaties (periode zonder gewas; LAI = 0) geldt uiteraard $T = 0$ en $E = ET$.

2.2.2 Alternatieve verdamping

De verdamping berekend met het verdampingsmodel bevat twee empirische factoren en een gewasgrootte factor. Deze drie parameters zijn onzeker, en het is niet ondenkbaar dat deze per bedrijf, per seizoen, per gewas, en zelfs per cultivar kunnen verschillen. Dergelijke informatie is echter niet beschikbaar. Hierdoor is de berekende verdamping onzeker.
De lysimeter is een afgesloten eenheid in de kasgrond. Hoewel de lysimeter niet op een weegschaal staat, is het toch mogelijk de verdamping over langere tijdsintervallen te schatten op basis van het verschil in irrigatie en gemeten drain onder in de lysimeter:

$$ET^* = \sum_{i=0}^{t}\left(I_i - D_i\right) \qquad [5]$$

waarbij

ET^*	cumulatieve verdamping geschat in de lysimeter	mm
I	irrigatie	mm
D	gemeten drain onder in de lysimeter	mm

Bij de berekening van ET^* wordt verondersteld dat de bergingsverandering in de bodem in de lysimeter over het tijdsinterval t verwaarloosbaar is. Met andere woorden, de teler is niet bewust de grond aan het vernatten of aan het uitdrogen. Typische tijdsintervallen waarover ET^* kan worden berekend is een teeltperiode (bijv. voor chrysant) dan wel enkele weken of maanden voor jaar-rond teelten, of lange perioden zoals een jaar.

In deze studie is via een regenmeter de irrigatie ter plaatse van de lysimeter gemeten. In enkele situaties werd gebruik gemaakt van druppelirrigatie. In die situaties werd de watergeefbeurt zoals geregistreerd op de klimaatcomputer gebruikt. In beide situaties is het echter denkbaar dat niet de werkelijke hoeveelheid water bekend was die in de lysimeter is geïnfiltreerd (meetfouten).

De gemeten drain onder in de lysimeter is op zich een robuuste maat. Toch hebben zich meet- en regelproblemen voorgedaan in het begin van de onderzoeksperiode. Betrouwbare metingen van de drain zijn voor een aantal bedrijven sinds de start in voorjaar 2011 beschikbaar. Bij andere bedrijven was dit later in het

jaar en een enkel bedrijf heeft geen betrouwbare meetresultaten opgeleverd. Daarom wordt *ET** alleen bepaald sinds augustus/september 2011.
Als we vertrouwen hebben in de schatting voor de verdamping via *ET**, dan kunnen we nagaan wat de verhouding is tussen *ET** en *ET*. Deze verhouding kan dan in de toekomst als correctiefactor voor *ET* gebruikt gaan worden:

$$F_{\mathrm{ET}} = \frac{ET^*}{ET} \qquad [6]$$

waarbij

F_{ET} correctiefactor voor *ET* mm mm^{-1}

Zoals eerder al aangegeven zal F_{ET} per bedrijf, per gewas en per cultivar verschillen, en mogelijk ook per seizoen.

2.3 Watergiftmodel en bijmestmodel

Het oorspronkelijke idee was om de mogelijkheid te hebben om adviezen over wanneer hoeveel water te geven en te bemesten door het emissiemanagement systeem te laten aangeven. Dit is echter niet operationeel gemaakt in het emissiemanagementtool omdat er veel inspanning nodig bleek om de waterstromen goed te kunnen meten (zie Voogt et al., 2012a; Balendonck et al., 2012), maar ook omdat de telers hier de meerwaarde nog niet van inzagen.

In het project is gebruik gemaakt van de standaardinstellingen van de teler voor tijdstippen en hoeveelheden van water geven.

2.4 Bodemmodel

De bodem is voor velen een 'black box'. Dat wil zeggen, we kunnen niet zien wat de vocht- en nutriëntentoestand in de bodem op verschillende diepten is. We kunnen ook niet zien of al het aanwezige water en voeding voor de plant beschikbaar is, of onderhevig is aan uitspoeling. Continue metingen van dergelijke toestanden en transport in de bodem is lastig en niet altijd mogelijk. In de bodem(natuur)kunde wordt daarom veel gebruik gemaakt van simulatiemodellen die dit soort informatie kan nabootsen, en daarmee inzichtelijk kan maken. Zo'n model is in de glastuinbouw voor zowel de substraatteelt als voor de grondteelt al enkele malen toegepast (bijv., Elings et al., 2004; Heinen, 2005). In een voorafgaande studie naar randvoorwaarden voor een lysimeter is gebruik gemaakt van een bodemmodel (Bakker et al., 2011).

Het bodemmodel zoals dat in deze studie is gebruikt, is afgeleid van een gedetailleerd bodemmodel van Alterra (FUSSIM2; Heinen, 1997 en 2001; Heinen en De Willigen, 1998 en 2001), en het is vergelijkbaar met het eenvoudige bodemmodel OSmanSoil (Heinen, 2005). Hier wordt het bodemmodel kort beschreven; details kunnen in eerder genoemde referenties worden gevonden.

2.4.1 Waterbeweging

Water in de bodem beweegt als gevolg van verschillen in de energietoestand (drukhoogteverschillen). Dit wordt wiskundig beschreven door de Richards (1931) vergelijking:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} - S \qquad [7]$$

waarin

θ	volumetrisch watergehalte	$cm^3\ cm^{-3}$
t	tijd	min
q	volume flux dichtheid	$cm^3\ cm^{-2}\ min^{-1}$
z	verticale afstand (diepte in de bodem)	cm
S	wateropname door wortels	$cm^3\ cm^{-3}\ min^{-1}$

Wateropname S wordt besproken in volgende sub-sectie.

De volume flux dichtheid q wordt gegeven door de wet van Darcy (1856):

$$q = -K(\theta)\left(\frac{\partial h(\theta)}{\partial z} + 1\right) \qquad [8]$$

waarin

K	hydraulische doorlatendheid	$cm^3\ min^{-1}$
h	drukhoogte	cm

Uit vergelijkingen [7] en [8] wordt duidelijk dat we de relaties tussen θ, h en K moeten kennen. Dit zijn de zogenaamde waterretentiekarakteristiek ($\theta(h)$) en de doorlatendheidskarakteristiek ($K(\theta)$ of $K(h)$). Deze worden veelvuldig beschreven door de relaties van Van Genuchten (1980):

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left(1 + |\alpha h|^n\right)^m} \qquad S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{\left(1 + |\alpha h|^n\right)^m} \qquad [9]$$

en Mualem (1976):

$$K(S_e) = K_s S_e^{\lambda}\left(1 - \left(1 - S_e^{1/m}\right)^m\right)^2 \qquad [10]$$

waarin

θ_r	residueel watergehalte	$cm^3\ cm^{-3}$
θ_s	watergehalte bij verzadiging (porositeit)	$cm^3\ cm^{-3}$
S_e	effectieve verzadigingsgraad	dimensieloos
K_s	doorlatendheid bij verzadiging	$cm^3\ min^{-1}$
α	vormparameter	cm^{-1}
n, m	vormparameter; $m = 1-1/n$	dimensieloos
λ	vormparameter	dimensieloos

Voor bekende waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken (bodemfysische eigenschappen) en bekende wateropname kan met het simulatiemodel de toestand van het water (watergehalte) op elke positie in de bodem c.q. lysimeter, en de uitspoeling berekend worden als functie van de tijd. In de sectie 'Bodemfysische eigenschappen' worden voor de deelnemende bedrijven deze eigenschappen gegeven.

2.4.2 Wateropname

Het modelleren van wateropname is vrij lastig, omdat veel gegevens over de wortelgroei, wortelverdeling en wortelafmetingen bekend moeten zijn. Omdat de teler de gewoonte heeft regelmatig water te geven met als doel dat het gewas te allen tijde voldoende water tot zijn beschikking heeft om te kunnen verdampen, is het niet noodzakelijk om een ingewikkeld wortelopnamemodel te hanteren. Als voldoende water beschikbaar is in de bodem, volgt uit de theorie dat de wateropname proportioneel is aan de wortelverdeling

$$S(z) = f(z)T \qquad [11]$$

waarin

$f(z)$	relatieve wortelverdelingsfunctie met de diepte	dimensieloos

In het model zijn drie opties voor wortelverdeling te kiezen: uniform, lineair en exponentieel. Voor de drie opties is het alleen van belang te weten wat de bewortelingsdiepte SD is. In deze studie is SD gekoppeld aan het gewasstadium L/L_{max} zoals gebruikt in het verdampingsmodel: $SD = SD_{max} * L/L_{max}$, waarbij SD_{max} de maximale beworteling aan het eind van de teelt is. Voor alle gewassen is gesteld SD_{max} = 30 cm.

Voor een uniforme verdeling geldt:

$$f(z) = \frac{1}{SD} \qquad [12]$$

waarin

SD	de bewortelingsdiepte	cm

Voor een lineaire verdeling geldt:

$$f(z) = \frac{2}{SD}\left(1 - \frac{z}{SD}\right) \qquad [13]$$

Voor een exponentiële verdeling geldt (zie Bijlage 1 voor afleiding):

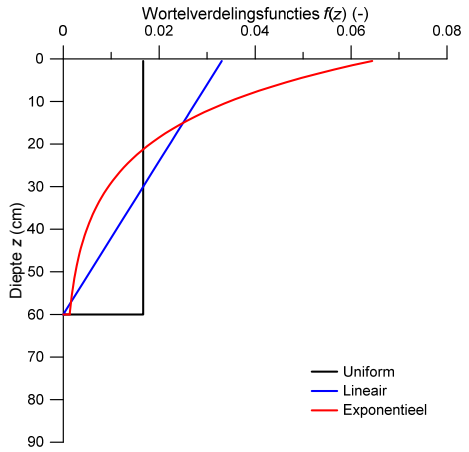
$$f(z) = \frac{1}{f_{SD}} \frac{\left(\exp[-\alpha_{SD} z_1] - \exp[-\alpha_{SD} z_2]\right)}{z_2 - z_1} \qquad \alpha_{SD} = -\frac{\ln[1 - f_{SD}]}{SD} \qquad [14]$$

waarin

f_{SD}	vormparameter	dimensieloos
α_{SD}	vormparameter	cm^{-1}

De waarde voor f_{SD} kan bijvoorbeeld gekozen worden als 0.95, 0.98 of 0.99.

Figuur 5 geeft een voorbeeld van de drie wortelverdelingsfuncties $f(z)$ voor een maximale bewortelingsdiepte SD = 60 cm, en voor de exponentiële verdeling f_{SD} = 0.98. De oppervlakten onder de drie curven is uiteraard gelijk aan 1. In deze studie is gebruik gemaakt van de uniforme wortelverdeling.



Figuur 5

Voorbeeld van de drie wortelverdelingsfuncties f(z) voor een maximale bewortelingsdiepte SD= 60 cm.

2.4.3 Stikstoftransport

Het oorspronkelijke idee was om naast wateruitspoeling ook stikstofuitspoeling te bestuderen en te modelleren. Omdat lopende het project de aandacht volledig gericht was op water en het oplossen van technische meet- en regelproblemen, is besloten om geen stikmodellering uit te voeren.

2.5 Bodemfysische eigenschappen

De waterretentiekarakteristiek ($\theta(h)$) en de doorlatendheidskarakteristiek ($K(\theta)$ of $K(h)$) kunnen in principe in het laboratorium worden gemeten. Dit is echter bewerkelijk en kostbaar. In dit project is voor de volgende aanpak gekozen. Alle locaties zijn bezocht door een veldbodemkundige (Willy de Groot, Alterra). Er is een profielbeschrijving opgesteld van de kasgrond in de buurt van de lysimeter (bijlage 2). Hierbij zijn geschat het percentage organische stof, percentage lutum (< 2 μm), percentage leem (< 50 μm) en de mediaan van de zandfractie (M50, μm). Via de continue vertaalfuncties van de 'Staringreeks' (Wösten et al., 2001) zijn hieruit de bodemfysische parameters (in vergelijkingen [9] en [10]) voor het betreffende bedrijf bepaald (tabel 3) (uitvoering: Simone Verzandvoort, Alterra). De negen bedrijven zijn gecodeerd (anoniem) weergegeven: 1AB, 2BN, 3BV, 4GE, 5HV, 6JM, 7KG, 8KT, 9VV.

Tabel 3

Bodemfysische parameters uit vergelijkingen [9] en [10] voor de negen deelnemende bedrijven voor de lokale bodemlagen.

Bedrijf	Laag	Diepte[1]	θ_r[2]	θ_s[2]	α[3]	n[4]	λ[4]	K_s[5]
1AB	1Ap1	0-38	0	0.58	0.02183	1.192	-1.632	294.59
	1C1g	38-50	0	0.42	0.02292	1.196	-3.509	37.08
	1Cg2	50-75	0	0.46	0.06926	1.133	-3.526	69.31
	1Cg3	75-120	0.01	0.39	0.01900	1.324	-1.741	27.81
2BN	1Ap	0-20	0.02	0.58	0.03023	1.458	-0.132	1872.54
	1Cw	20-45	0	0.59	0.03542	1.310	-0.510	987.99
	2Cg1	45-60	0.01	0.44	0.04785	1.151	-3.829	45.48
	2Cg2	60-110	0	0.41	0.02161	1.229	-2.860	34.39
	2Cr	110-120	0	0.43	0.04935	1.246	-1.502	39.21
3BV	1Ap1	0-15	0.02	0.54	0.01306	1.433	0.215	19.45
	1Ap2	15-30	0.02	0.48	0.01635	1.424	-0.090	40.97
	1Aa	30-60	0.02	0.47	0.01637	1.440	-0.083	42.80
	1Cg1	60-80	0.01	0.42	0.01976	2.116	0.131	59.43
	1Cg2	80-100	0.01	0.41	0.01414	1.930	-0.537	33.48
	2Cg1	100-120	0.01	0.43	0.02549	2.283	0.178	74.98
	2Cr	120-150	0.02	0.43	0.02524	2.495	0.109	127.82
4GE	1Ap1	0-30	0.02	0.48	0.01740	1.432	-0.045	34.23
	1Aa1	30-65	0.02	0.48	0.01676	1.430	-0.072	38.17
	1Aa2	65-80	0.02	0.45	0.01812	1.563	0.033	38.77
	1Cg1	80-115	0.01	0.42	0.01655	1.814	0.040	56.44

Bedrijf	Laag	Diepte[1]	θ_r[2]	θ_s[2]	α[3]	n[4]	λ[4]	K_s[5]
	1Cg2	115-125	0.01	0.42	0.01655	1.814	0.040	56.44
	2Cg1	125-160	0.01	0.43	0.00689	1.760	1.618	45.49
	2Cg2	160-185	0.02	0.42	0.01749	1.900	0.087	52.74
	2Cg3	185-220	0.01	0.48	0.00118	2.296	1.999	16.39
5HV	1Ap	0-30	0.02	0.49	0.01891	1.462	0.014	32.30
	1Aa	30-40	0.02	0.47	0.01901	1.497	0.019	35.60
	1Aa/C	40-100	0.02	0.46	0.01881	1.548	0.038	37.99
	1Ab	100-120	0.02	0.46	0.01894	1.518	0.027	36.73
	1Cg	120-150	0.01	0.43	0.02356	2.265	0.160	71.95
6JM	1Ap	0-20	0.02	0.46	0.01983	1.555	0.045	38.51
	1Aa	20-40	0.02	0.46	0.01983	1.555	0.045	38.51
	1Aa/1C1	40-60	0.02	0.46	0.01828	1.523	0.020	37.16
	1Aa/1Cg1	60-90	0.01	0.43	0.01763	1.717	0.065	44.84
	1BCg	90-120	0.01	0.42	0.01825	1.985	0.111	56.87
	1Cg1	120-140	0.01	0.42	0.00515	1.714	1.834	10.50
	1Cg2	140-200	0.02	0.42	0.01655	1.814	0.040	56.44
	1Cr	200-210	0.01	0.43	0.02028	1.800	-0.588	92.46
7KG	1Ap1	0-20	0.02	0.50	0.02010	1.482	-0.024	39.52
	1Ap2	20-45	0.02	0.50	0.02036	1.486	-0.015	38.24
	1Ce	45-50	0.02	0.45	0.01816	1.683	0.009	55.34
	1Cg1	50-65	0.02	0.43	0.01934	1.950	0.110	52.69
	1Cer1	65-100	0.02	0.44	0.02087	1.973	0.129	54.56
	1Cer2	100-150	0.02	0.45	0.02640	1.950	-0.595	96.43
8KT	1Ap	0-40	0	0.47	0.05436	1.139	-3.238	73.40
	1Cg1	40-60	0.01	0.43	0.02344	1.183	-3.807	37.83
	1Cg2	60-100	0	0.41	0.02082	1.253	-2.507	32.49
	1Cg3	100-120	0	0.42	0.02231	1.211	-3.194	35.93
	1Cg4	120-140	0	0.41	0.02082	1.253	-2.507	32.49
	1Cr	140-150	0	0.42	0.04601	1.292	-1.131	34.18
9VV	1Aap1	0-15	0.02	0.54	0.01534	1.455	0.062	31.70
	1Aap2	15-30	0.02	0.51	0.01713	1.442	-0.074	45.25
	1Aa	30-100	0.02	0.49	0.01764	1.479	-0.077	55.11
	1Cg2	100-150	0.01	0.45	0.01534	1.870	0.003	214.93

1: Diepte in cm beneden maaiveld; 2: θ_r en θ_s in $cm^3\ cm^{-3}$; 3: α in cm^{-1}; 4: *n* en λ zijn dimensieloos; 5: K_s in cm d^{-1}

Voor twee bedrijven (1AB en 9VV) zijn ter illustratie ook de bodemfysische eigenschappen gemeten in het laboratorium. Door de eigenschappen bepaald volgens de methode hierboven en bepaald in het laboratorium met elkaar te vergelijken wordt een indruk verkregen van de verschillen (tabel 4). Interpretatie van de parameterwaarden is lastig. Daarom zijn ook de curven gegeven (figuur 6; figuur 7). Voor 1AB blijkt dat voor

twee bodemlagen (Ap1 en Cg1) de overeenkomst relatief goed is voor de waterretentiekarakteristiek (maar: let op de logaritmische assen). Voor 9VV blijkt dat voor twee bodemlagen (Aap1 en Aa) de overeenkomst relatief goed is (maar: let op de logaritmische assen), voor zowel de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken.

Voor een zo goed mogelijke simulatie van de toestand in de kas is het natuurlijk het beste de bodemfysische eigenschappen te meten. Voor meer indicatieve simulaties zou kunnen worden volstaan met het vaststellen van de bodemfysische eigenschappen op basis van de hierboven beschreven vertaalfunctie.

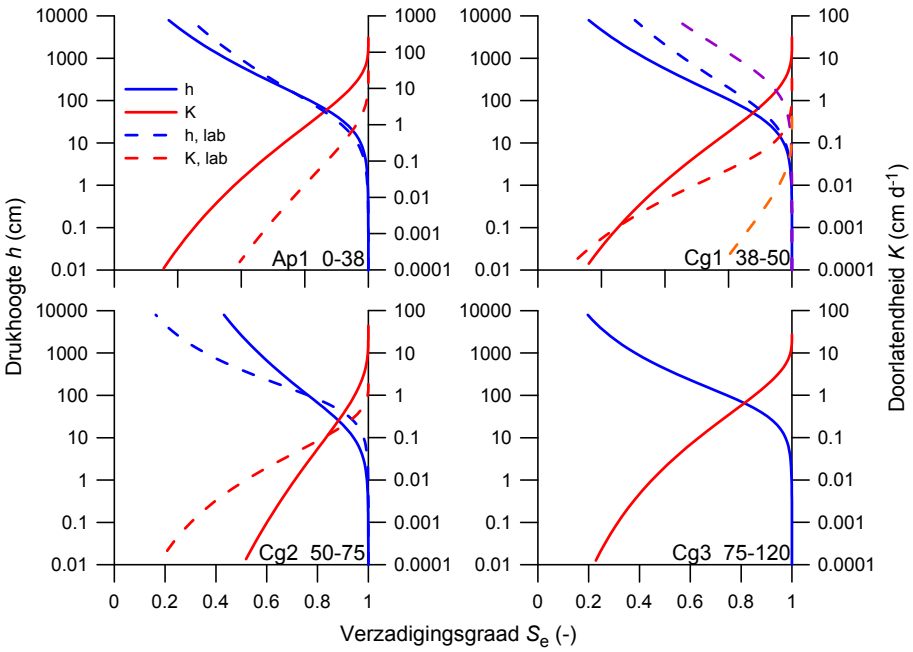
Ter volledigheid, bij de start van het project zijn ook enkele proeven uitgevoerd bij Wageningen UR-Glastuinbouw, locatie Bleiswijk. Voor deze locatie zijn ook de bodemfysische eigenschappen bepaald in het laboratorium, en de gegevens zijn vermeld in bijlage 3. Voor deze locatie worden verder geen resultaten vermeld.

Tabel 4

Bodemfysische parameters uit vergelijkingen [9] en [10] voor twee van de negen deelnemende bedrijven voor de lokale bodemlagen zoals bepaald aan de hand van de vertaalfunctie (zie tabel 3) en bepaald aan de hand van laboratoriummetingen.

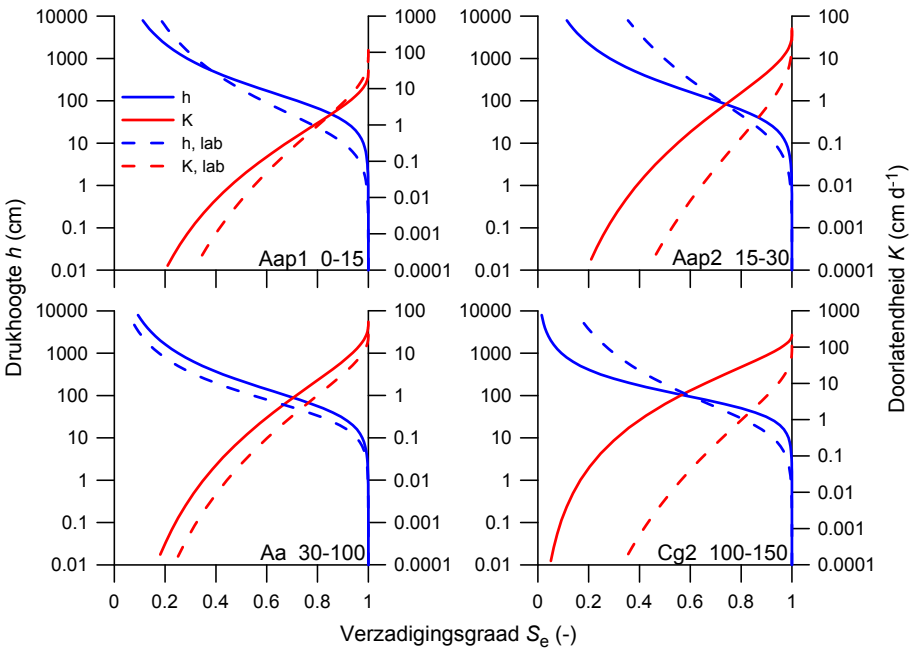
Methode	Laag	Diepte[1]	θ_r[2]	θ_s[2]	α[3]	n[4]	λ[4]	K_s[5]
1AB , Vertaalfunctie	1Ap1	0-38	0	0.58	0.02183	1.192	-1.632	294.59
	1Cg1	38-50	0	0.42	0.02292	1.196	-3.509	37.08
	1Cg2	50-75	0	0.46	0.06926	1.133	-3.526	69.31
	1Cg3	75-120	0.01	0.39	0.01900	1.324	-1.741	27.81
1AB , Laboratorium	1Ap1	0-38	0	0.55	0.03767	1.143	0.0001	43.05[7]
	1Cg1	38-50	0	0.40	0.02384	1.130	-12.157	4.96[7]
	1Cg2	50-75	0	0.42	0.01436	1.382	-3.082	1.85[7]
	1Cg1, achter[6]	75-120	0	0.4	0.00338	1.136	0.0001	0.55[7]
9VV , Vertaalfunctie	1Aap1	0-15	0.02	0.54	0.01534	1.455	0.062	31.70
	1Aap2	15-30	0.02	0.51	0.01713	1.442	-0.074	45.25
	1Aa	30-100	0.02	0.49	0.01764	1.479	-0.077	55.11
	1Cg2	100-150	0.01	0.45	0.01534	1.870	0.003	214.93
9VV , Laboratorium	1Aap1	0-15	0.057	0.57	0.0700	1.267	-0.090	125.46
	1Aap2	15-30	0	0.50	0.0700	1.164	-2.875	68.97
	1Aa	30-100	0.125	0.40	0.0282	1.520	1.333	27.41
	1Cg2	100-150	0.079	0.38	0.0486	1.310	1.585	113.31

1: Diepte in cm beneden maaiveld; 2: θ_r en θ_s in $cm^3\ cm^{-3}$; 3: α in cm^{-1}; 4: *n* en λ zijn dimensieloos; 5: K_s in cm d^{-1}; 6: bij 1AB is de laag Cg3 niet bemonsterd, maar is de laag Cg1 (38-50) ook achter in de kas bemonsterd omdat de teler aangaf dat deze laag een hogere weerstand heeft; 7: de waarden voor K_s volgen uit de Wind-methode, K_{sat} metingen geven een veel hogere waarde.



Figuur 6

Grafische vergelijking van de waterretentiekarakteristiek (linker as; blauwe lijnen) en de doorlatendheidskarakteristiek (rechter as; rode lijnen) bepaald via de vertaalfunctie (doorgetrokken lijnen) en bepaald in het laboratorium (onderbroken lijnen) voor de vier bodemlagen van bedrijf 1AB. De paarse en oranje lijn behoren bij de laag C1g, achter (zie tabel 4).



Figuur 7

Grafische vergelijking van de waterretentiekarakteristiek (linker as; blauwe lijnen) en de doorlatendheidskarakteristiek (rechter as; rode lijnen) bepaald via de vertaalfunctie (doorgetrokken lijnen) en bepaald in het laboratorium (onderbroken lijnen) voor de vier bodemlagen van bedrijf 9VV.

2.6 Watergehaltesensoren

Water geven leidt tot veranderingen (toename) in het watergehalte in de bodem en wortelzone. Teveel water geven leidt tot vernatting van de bodem en uiteindelijk tot drainage in de lysimeter, dan wel uitspoeling uit de kasgrond. Te weinig water geven leidt tot uitdroging, dat uiteindelijk tot verdampingsreductie en groeireductie kan leiden. Om eventuele tekorten in de wortelzone dan wel vroegtijdig vernatting te kunnen waarnemen zijn watergehaltesensoren in de bodem geplaatst op verschillende diepten.

In deze studie zijn SM300 sensoren[2] (voorbeeld in figuur 1) op drie diepten in de lysimeter en op vergelijkbare diepten buiten de lysimeter geplaatst. De meetgegevens zijn opgeslagen in de centrale database. In de sectie 'Resultaten' worden naast de gegevens van de lysimeter ook gegevens van watergehalten (kort) besproken worden om aan te geven hoe de gegevens onderling te combineren zijn.

Voor details en overige informatie over de watergehaltesensoren wordt verwezen naar het rapport van Balendonck et al. (2012).

2.7 Toepassing

Het bodemmodel is gebruikt om de situatie in de lysimeter na te bootsen, en om de situatie in de kasgrond buiten de lysimeter na te bootsen (referentie). Voor alle bedrijven geldt dat het water uniform wordt toegediend en dat er een hoge plantdichtheid is. Daarmee is het proces dus één-dimensionaal na te bootsen met het bodemmodel. In de lysimeter is een grondkolom van 90 cm aanwezig, met een zogenaamde 'seepage' drain[3] onderrandvoorwaarde. Voor de situatie buiten de lysimeter wordt een grondkolom beschouwd tot aan een diepte waar zich de grondwaterstand bevindt. In figuur 8 is de model schematisatie voor beide situaties weergegeven. De gebruikte kolomlengtes voor de referentie situatie is per bedrijf vermeld in tabel 5. De onderrandvoorwaarde in de referentie berekening was die van een constante drukhoogte gelijk aan het verschil (lengte grondkolom minus positie grondwaterstand).

De rekeneenheid voor tijd was 1 h, die in tien deeltijdstappen werd doorgerekend. Hysterese werd beschouwd waarbij de vernattingscurve wordt beschreven met dezelfde bodemfysische parameters als die voor de verdrogingscurve, behalve $\alpha_w = 2\alpha_d$. Initieel werd een evenwicht in drukhoogte verondersteld met $h = 0$ onder in de lysimeter dan wel op de diepte van de grondwaterstand voor de referentiesituatie. Om problemen met infiltratie te voorkomen werd K_{sat} van de 1e horizont standaard met een factor twee verhoogd. Verdampingsreductie werd niet beschouwd.

[2] Delta-T Devices, http://www.delta-t.co.uk/

[3] 'seepage drain': water stroomt uit als de onderrand verzadigd is, anders is de onderrand een ondoorlatende rand ('no flow')

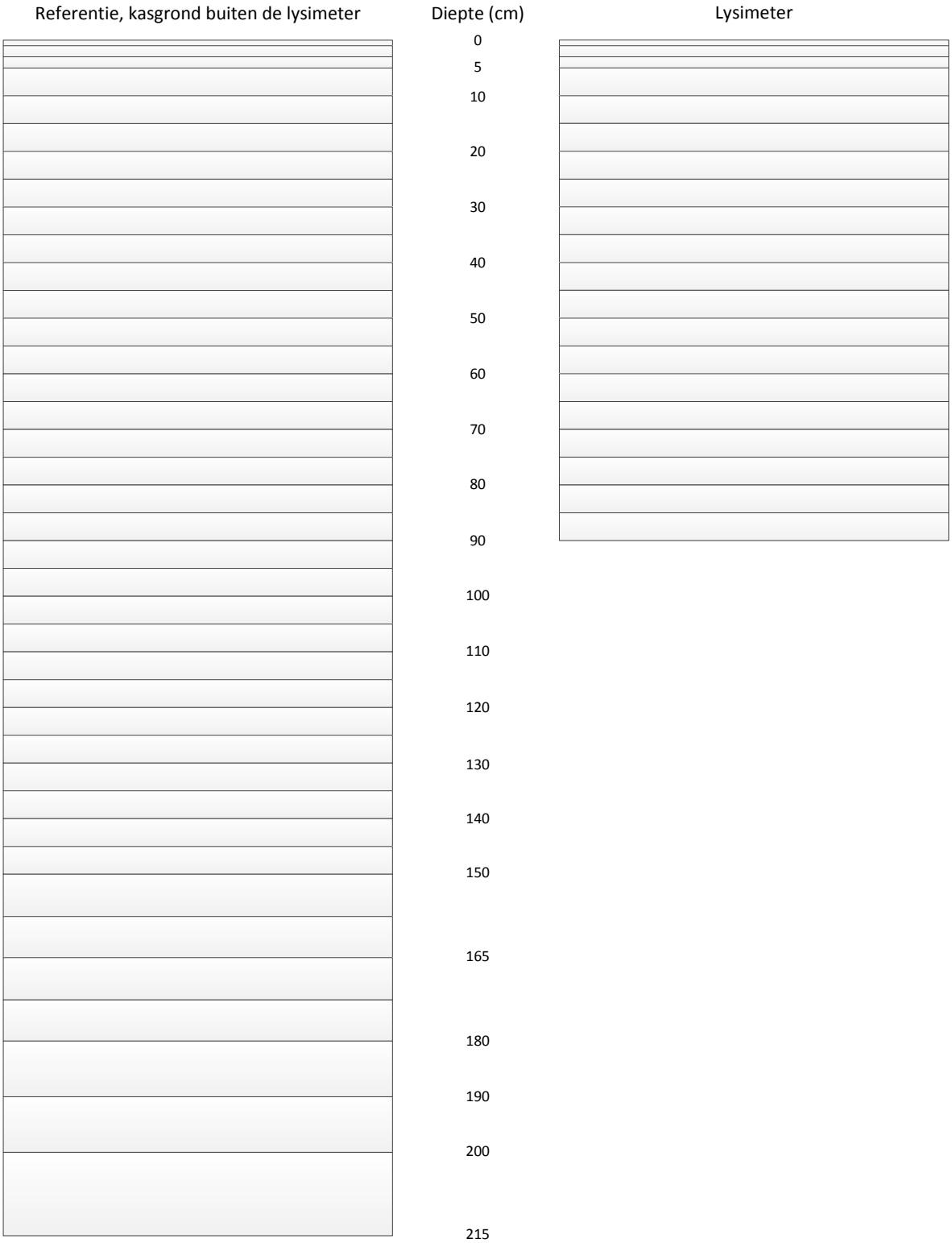
Tabel 5

Lengte van de grondkolom die is doorgerekend voor de lysimeter en referentie situaties, en de constant veronderstelde grondwaterstand gebruikt bij de referentie berekeningen.

Bedrijf	Diepte lysimeter (cm)	Diepte referentie (cm)	Positie grondwater (cm – mv)
1AB	90	120	108
2BN	90	120	85
3BV	90	150	135
4GE	90	215	250
5HV	90	150	117.5
6JM	90	215	127.5
7KG	90	150	90
8KT	90	150	105
9VV	90	150	150

Voor sommige bedrijven is een diepe grondkolom in de referentie situatie doorgerekend. Bij de start van het project was voor die bedrijven een diepere grondwaterstand verondersteld dan de positie die gegeven in tabel 5. Er zijn voor die gevallen ook berekeningen uitgevoerd met een kleinere grondkolom: de verschillen in voorspelde uitspoeling op 90 cm diepte was verwaarloosbaar.

De watergehaltesensoren waren standaard op diepten 15, 30 en 60 cm –mv geplaatst. Omdat deze diepten precies op de grenzen van rekenlagen liggen, worden gesimuleerde watergehalten op deze diepten bepaald als het gemiddelde van de twee aanliggende rekenlagen.



Figuur 8

Laagindeling zoals gebruikt in het bodemmodel voor de simulaties van de referentie en de lysimeter situaties. Per bedrijf verschilt de totale rekendiepte van de referentiesituatie (zie tabel 5).

Door verschillende technische meet- en regelproblemen, zijn de gemeten data pas betrouwbaar vanaf medio 2011. Dus, de modelberekeningen zijn dan ook pas vanaf die periode uitgevoerd. Tabel 6 geeft de teelten per bedrijf weer.

Tabel 6

Startdata teelten per bedrijf en vermelding geteeld gewas.

Bedrijf	Start teelten	Gewas
1AB	*10-02-2011*	*Chrysant (Euro)*
	14-04-2011	*Chrysant (Euro)*
	16-06-2011 (stomen 18-8)	*Chrysant (Zembla)*
	19-08-2011	*Chrysant (Zembla)*
	26-10-2011	Chrysant (Zembla)
	09-01-2012	Chrysant (Zembla)
	14-03-2012	Chrysant (Zembla)
	18-05-2012	Chrysant (Zembla)
	25-07-2012 (stomen 24-07)	Chrysant (Zembla)
2BN	*16-03-2011*	Violier
	26-05-2011	Trachelium
	19-08-2011	Violier
	31-12-2011	braak
	15-03-2012	Violier
	25-05-2012	Trachelium
	16-08-2012[1]	Violier
3BV	*01-03-2011*	*Matricaria*
	12-05-2011	*Matricaria*
	02-07-2011	*Matricaria*
	29-08-2011	*Matricaria*
	27-10-2011	Matricaria
	30-01-2012	Matricaria
	06-04-2012	Matricaria
	05-06-2012	Matricaria
	25-07-2012[1]	Matricaria
4GE	*03-05-2011*	*Chrysant*
	11-07-2011	*Chrysant*
	16-09-2011	Chrysant
	27-12-2011	Chrysant
	18-02-2012	Chrysant
	23-04-2012	Chrysant
	03-07-2012	Chrysant
5HV	*09-02-2011*	*Chrysant Euro*
	19-04-2011 (na teelt gestoomd)	*Chrysant Euro*
	28-06-2011	*Chrysant Euro*
	01-09-2011	Chrysant Euro
	09-11-2011	Chrysant Euro
	27-01-2012	Chrysant Major
	07-04-2012	Chrysant Major
	07-06-2012 (na teelt gestoomd)	Chrysant Major
	10-08-2012[1]	Chrysant Major
6JM	*24-02-2011*	*Chrysant*
	30-04-2011	*Chrysant*
	05-07-2011	*Chrysant*
	08-09-2011	Chrysant
	12-11-2011	Chrysant
	30-01-2012	Chrysant
	05-04-2012	Chrysant
	08-06-2012	Chrysant
	07-08-2012[1]	Chrysant
	14-08-2012[1]	Chrysant

Bedrijf	Start teelten	Gewas
7KG	*16-05-2011*	Sla (Peter)
	17-06-2011	braak
	11-07-2011	Sla (Peter)
	12-08-2011	braak
	07-09-2011	Sla (Weston)
	26-10-2011	Sla (Abeba)
	07-01-2012	braak
	12-02-2012	Sla (Peter)
	20–04-2012 (stomen: 01/02-05-2012)	braak
	22-05-2012	Sla (Amica)
	23-06-2012	braak
	03-07-2012	Sla (Amica)
	10-08-2012	braak
	20-08-2012	Sla Amica
8KT	*13-01-2011*	Paprika (Spider op onderstam Snooker)
	19-11-2011	braak
	09-01-2012	Tomaat (Annamay op onderstam Brigeor)
9VV	*03-01-2011*	*Paprika*
	15-11-2011	*braak*
	06-01-2012	Tomaat (Komeet, op onderstam Maxifort)

1: wegens ontkoppeling regenmeter geen irrigatiegegevens bekend

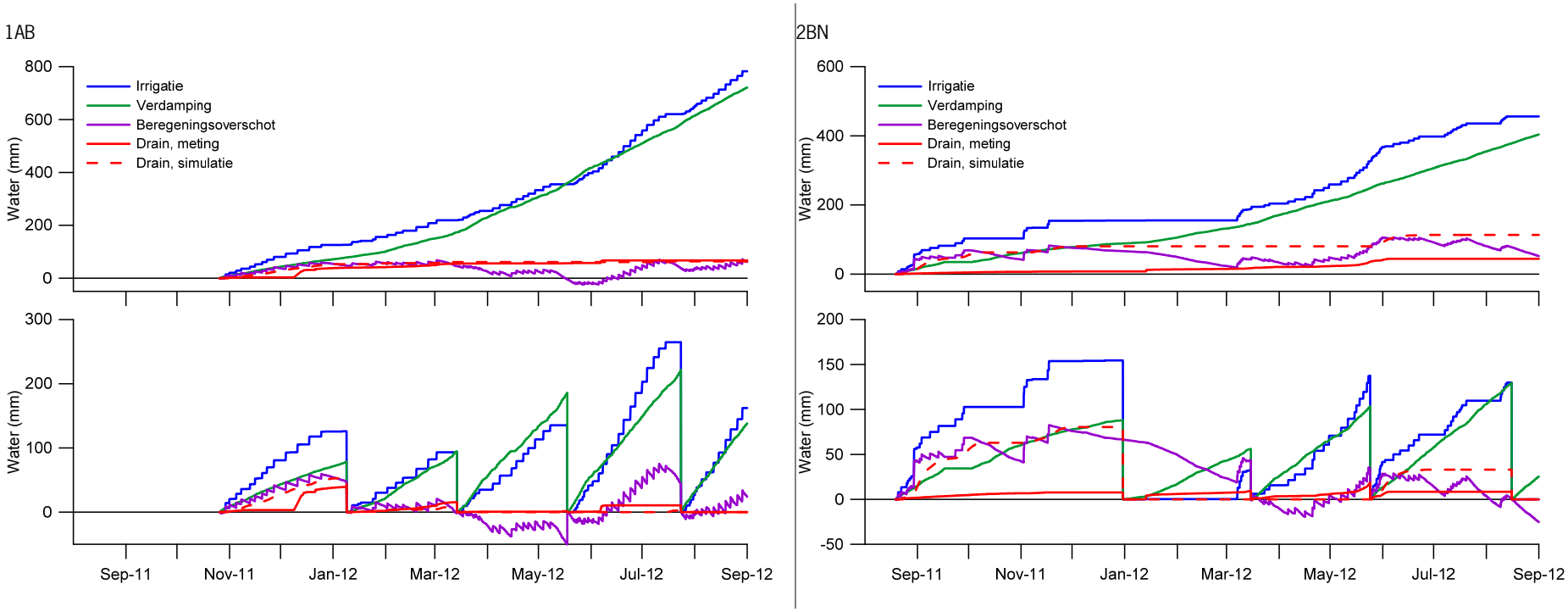
3 Resultaten en discussie

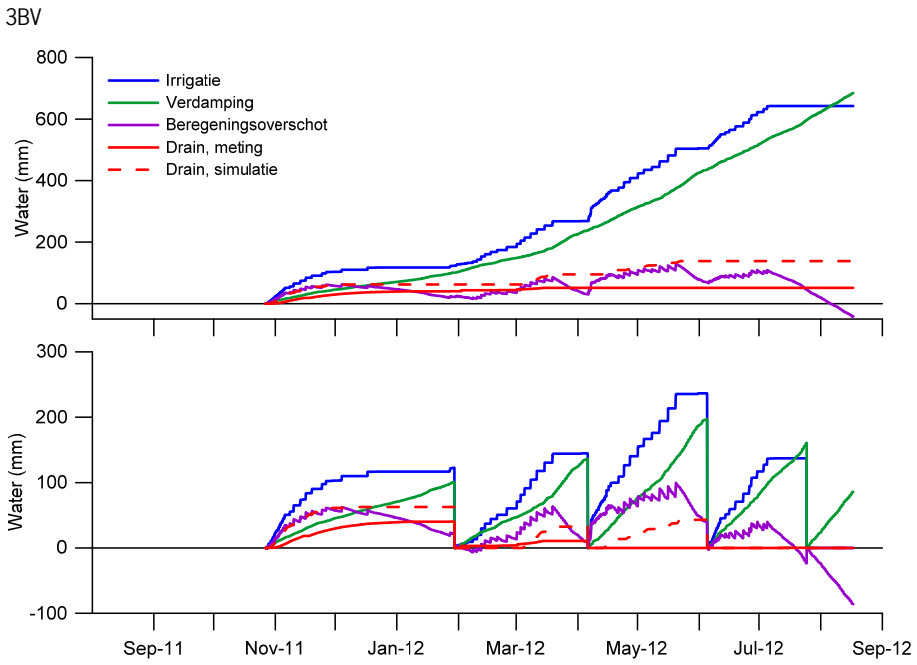
3.1 Waterbalans

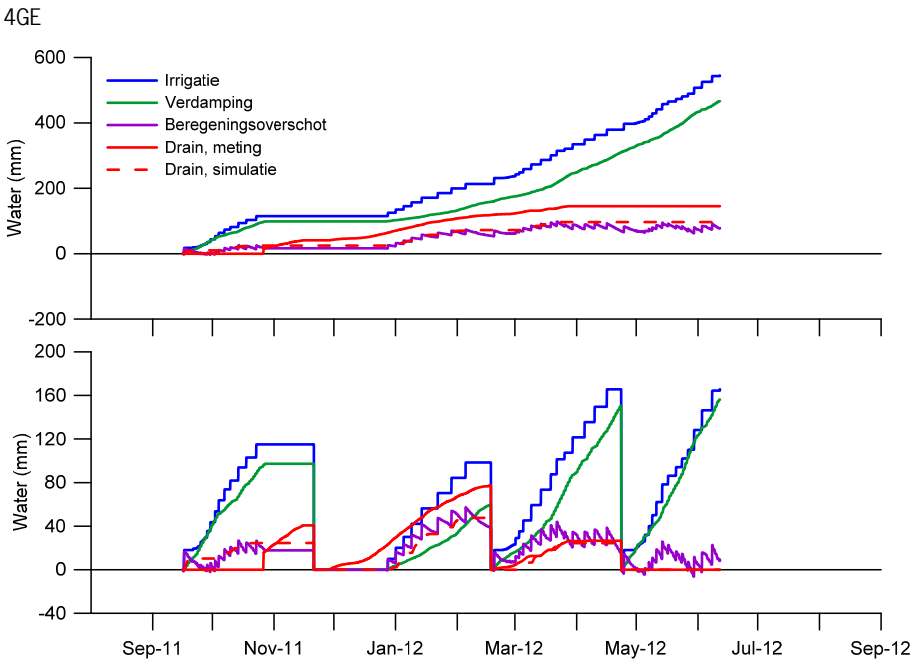
Figuur 9 geeft een overzicht van de waterbalans voor de negen bedrijven. Voor een aantal bedrijven geldt dat over de totale periode de verdamping en irrigatie aan elkaar gelijk zijn. Dat geldt niet voor de individuele teelten. Dan blijkt soms dat de irrigatie groter is dan de verdamping of omgekeerd dat de verdamping groter is da de irrigatie. Een aantal andere bedrijven geven iets meer water dan de verdamping.

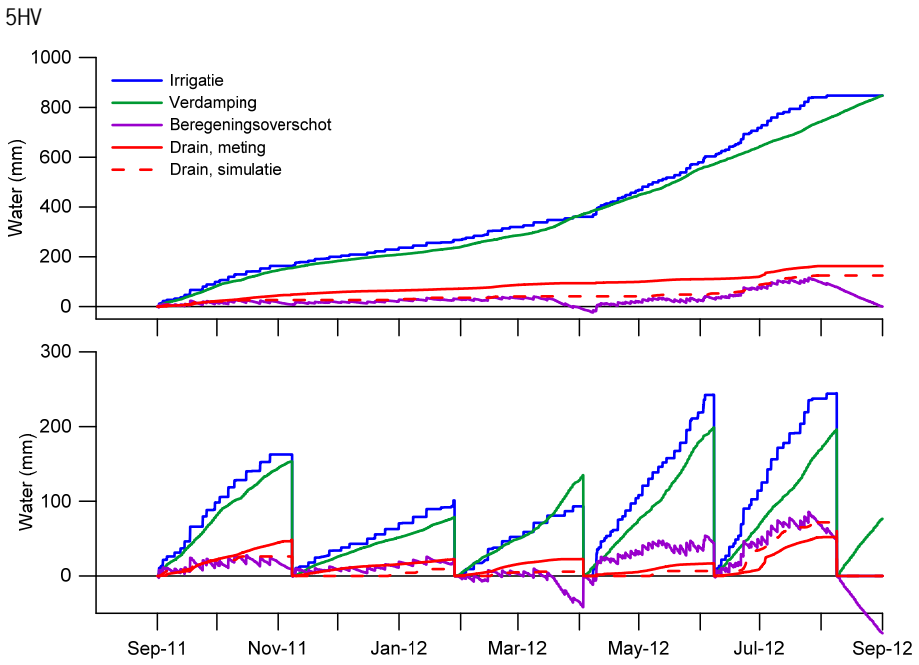
De overeenkomst tussen verdamping en irrigatie is voor de bedrijven met sla en zomerbloemen gering. Dit valt voornamelijk toe te schrijven aan de onzekerheid in de verdampingsparameters in de berekening van de verdamping.
De meetgegevens voor bedrijf 8KT zijn zeer onbetrouwbaar. Daarom besteden we geen aandacht aan de waterbalansgegevens van dit bedrijf.

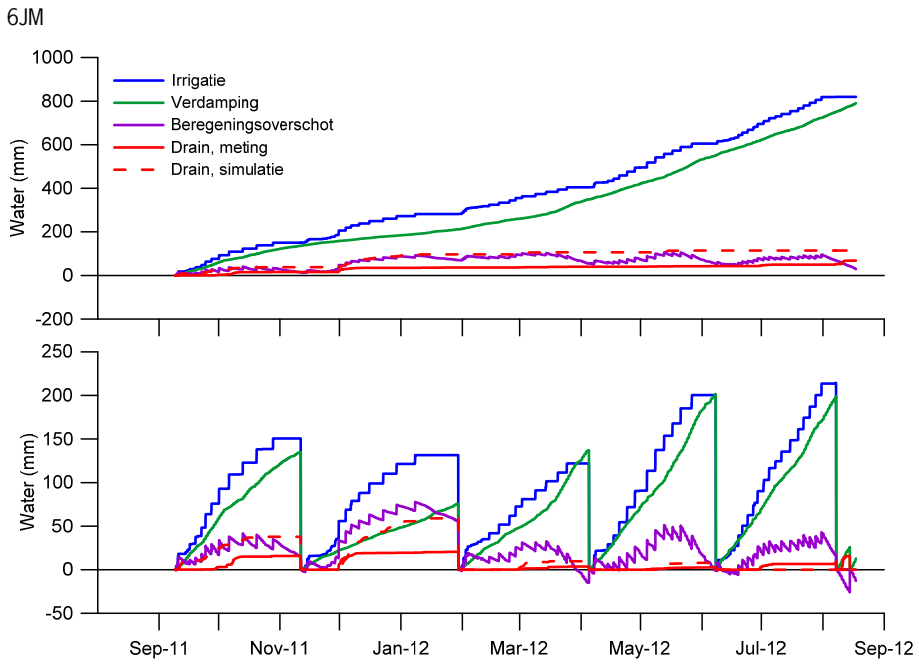
De constatering dat de verschillen tussen irrigatie en verdamping voor de individuele teelten per bedrijf (en tussen de bedrijven) verschillend is, geeft aan dat de werkelijk verdamping per cultivar verschillend is, en/of er toch seizoen-effecten op de verdampingsparameters bestaan, en/of de opgelegde irrigatie door de teler niet wordt afgestemd op de verdamping. Dat laatste speelt vrijwel zeker een belangrijke rol omdat de teler tot voor dit project nauwelijks inzicht had in de gewasverdamping en in de nieuwe situatie daarmee nog moet leren omgaan. Ook moet hier opgemerkt worden dat er niet altijd van kan worden uitgegaan dat de bergingsverandering per teelt verwaarloosbaar is. Over dat laatste kan alleen met zekerheid iets gezegd worden als we zeker zijn dat de verdamping goed berekend wordt en de irrigatie goed gemeten is.

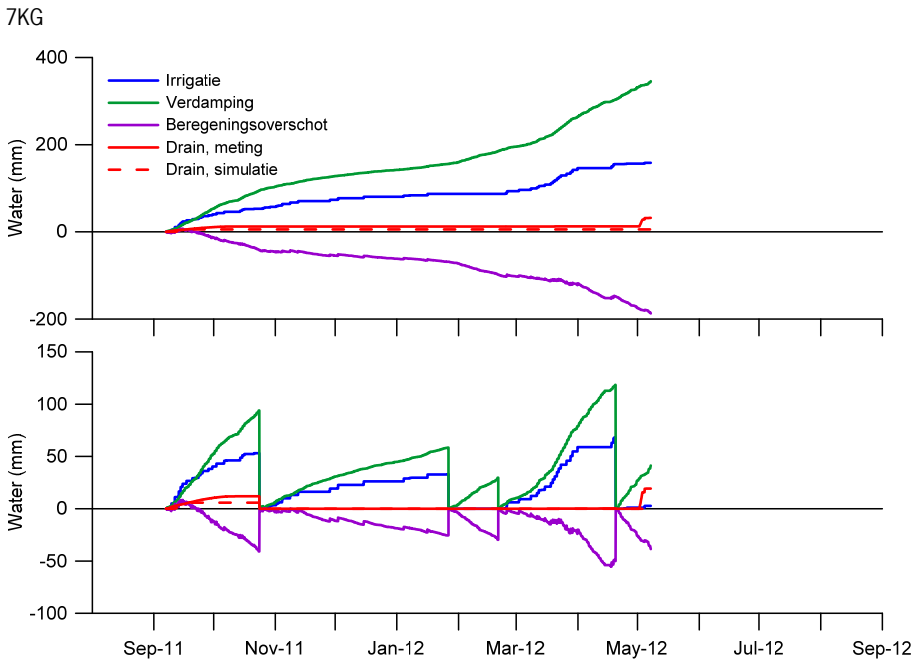

1AB
2BN
Irrigatie
Verdamping
Beregeningsoverschot
Drain, meting
Drain, simulatie
Water (mm)
800
600
400
200
0
300
100
-50
150
50
Sep-11
Nov-11
Jan-12
Mar-12
May-12
Jul-12
Sep-12

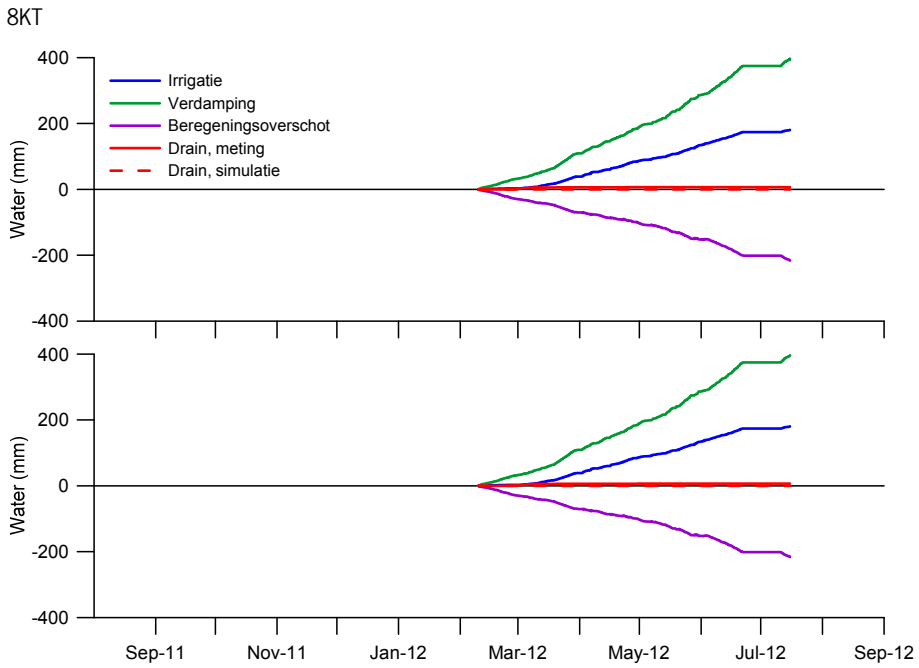

3BV
Irrigatie
Verdamping
Beregeningsoverschot
Drain, meting
Drain, simulatie
Water (mm)
800
600
400
200
0
300
200
100
0
-100
Sep-11
Nov-11
Jan-12
Mar-12
May-12
Jul-12
Sep-12


4GE
Irrigatie
Verdamping
Beregeningsoverschot
Drain, meting
Drain, simulatie
Water (mm)
600
400
200
0
-200
200
160
120
80
40
0
-40
Sep-11
Nov-11
Jan-12
Mar-12
May-12
Jul-12
Sep-12

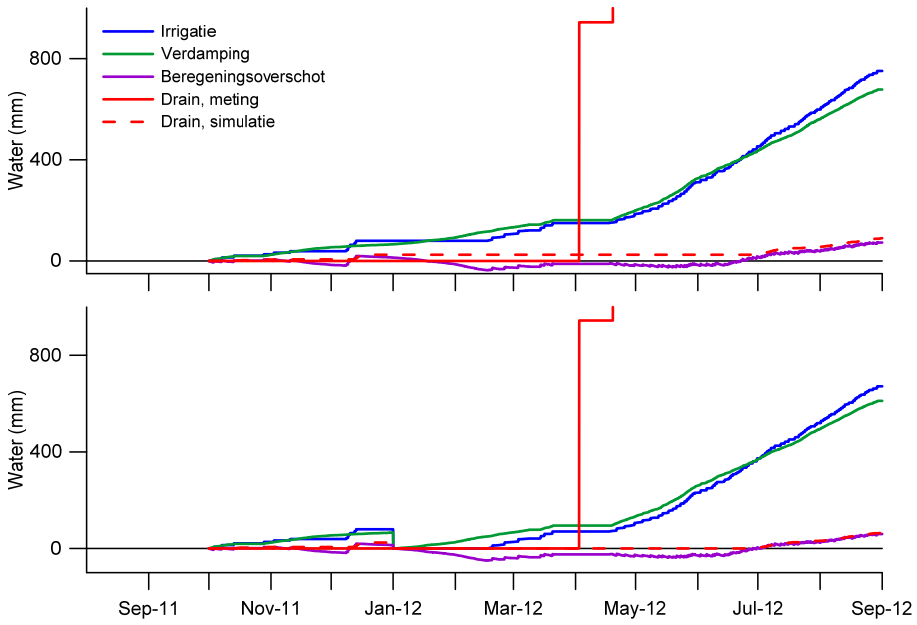

5HV
Irrigatie
Verdamping
Beregeningsoverschot
Drain, meting
Drain, simulatie
Water (mm)
1000
800
600
400
200
0
300
200
100
0
Sep-11
Nov-11
Jan-12
Mar-12
May-12
Jul-12
Sep-12


6JM
Irrigatie
Verdamping
Beregeningsoverschot
Drain, meting
Drain, simulatie
Water (mm)
1000
800
600
400
200
0
-200
250
200
150
100
50
0
-50
Sep-11
Nov-11
Jan-12
Mar-12
May-12
Jul-12
Sep-12


7KG
Irrigatie
Verdamping
Beregeningsoverschot
Drain, meting
Drain, simulatie
Water (mm)
400
200
0
-200
150
100
50
0
-50
-100
Sep-11
Nov-11
Jan-12
Mar-12
May-12
Jul-12
Sep-12


8KT
Irrigatie
Verdamping
Beregeningsoverschot
Drain, meting
Drain, simulatie
Water (mm)
400
200
0
-200
-400
Sep-11
Nov-11
Jan-12
Mar-12
May-12
Jul-12
Sep-12

9W



Figuur 9

Waterbalans per bedrijf, zowel cumulatief over alle beschouwde teelten en per teelt: irrigatie (gemeten), verdamping (berekend met verdampingsmodel), beregeningsoverschot (irrigatie minus verdamping), gemeten drain onder in de lysimeter, en gesimuleerde drain.

3.2 Watergehalte

Bij het vergelijken van watergehalten gemeten met sensoren en gesimuleerd met het bodemmodel moeten we de volgende twee zaken in ogenschouw nemen.

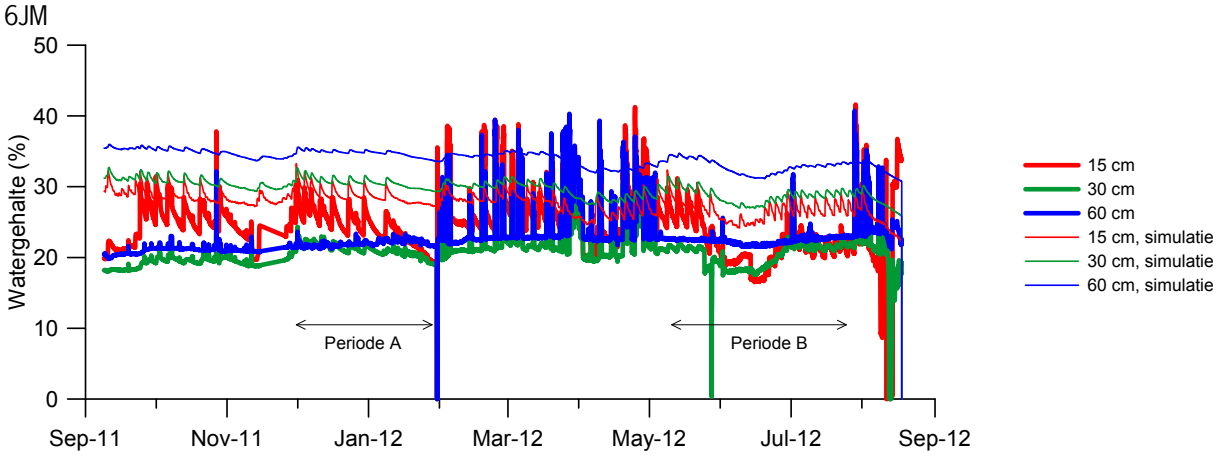
1) de watergehaltesensoren zijn NIET gekalibreerd voor de specifieke locatie waar ze zijn geïnstalleerd (zie Balendonck et al., 2012);
2) de berekende watergehalten zijn een benadering van de werkelijkheid omdat de bodemfysische eigenschappen en de randvoorwaarden van het model benaderingen zijn.

Door deze beide aspecten is het waarschijnlijk dat er geen (goede) overeenkomst bestaat tussen gemeten en gesimuleerde watergehalten. Zoals door Balendonck et al. (2012) en Voogt et al. (2012b) al is aangegeven, is het voor de watergehaltesensoren belangrijker om de trends in de gegevens te beschouwen en niet zozeer de absolute meetwaarden. De trends geven daarbij aan of er sprake is van vernatting (stijgende watergehalten) of van uitdroging (dalende watergehalten). In veel situaties zijn bij de gemeten watergehalten sterke verstoringen zichtbaar (storingen door oogstmachines; Balendonck et al., 2012).

In het onderstaande bespreken we:

a) de overeenkomsten en verschillen in gemeten en gesimuleerde watergehalten voor één bedrijf, waarbij we vooral inzoomen op twee deelperiodes;
b) grafische weergave gemeten en gesimuleerde watergehalten voor de overige acht bedrijven, zonder nadere toelichting;
c) de overeenkomsten en verschillen in gesimuleerde watergehalten binnen en buiten (referentie) de lysimeter voor de negen bedrijven.

ad a)
In figuur 10 zijn de gemeten (dikke lijnen) en gesimuleerde (dunne lijnen) watergehalten in de lysimeter voor bedrijf 6JM weergegeven. We gaan hieronder nader in op de twee aangegeven perioden A en B. In de periode februari-mei 2012 is duidelijk te zien dat de metingen beïnvloed zijn door storingen. De reden waarom er perioden met en zonder storingen zijn heeft te maken met de positie van de oogstmachine in de kas ten opzichte van de positie van de lysimeter.



Figuur 10
Tijdsverlopen van gemeten en gesimuleerde watergehalten (volume procenten) op drie diepten in de lysimeter voor bedrijf 6JM. In latere figuren wordt ingezoomd op de perioden A en B.

Figuur 11 toont de situatie voor periode A (december 2011 - eind januari 2012). Duidelijk is de overeenkomstige dynamiek in het watergehalte op diepte 15 cm te zien, die het gevolg is van de watergeefbeurten. De onderste drie grafieken in figuur 11 geven per diepte de overeenkomst weer, waarbij de lijnen naar elkaar zijn toegeschoven: de gemeten waarden staan op de linker y-as en de gesimuleerde waarden staan op de rechter y-as; hierbij is wel gezorgd dat de range van beide y-assen gelijk zijn. In het begin is op diepte 15 cm de overeenkomst heel goed, maar dat wordt wat minder aan het eind van deelperiode A: de simulaties leiden tot een iets minder grote uitdroging. De overeenkomst op 30 cm is vrij goed, maar de metingen en simulaties zijn niet gelijk op 60 cm. De algemene gemeten trend op 60 cm geeft vernatting aan, terwijl de simulaties een dalende trend aangeven.

Figuur 12 toont de situatie voor periode B (begin mei 2012 - eind juli 2012). Op 15 cm is de overeenkomst tussen gemeten en berekende watergehalten voor de hele periode vrij goed. In tegenstelling tot periode A is nu de overeenkomst op 30 cm minder goed. Eind juni wordt een snellere stijging gemeten dan berekend. Voor diepte 60 cm is de overeenkomst nu wel vrij goed.

De hierboven genoemde twee aspecten betreffende niet-gekalibreerde sensoren, en de onzekerheid in de bodemfysische eigenschappen zouden aanleiding zijn tot systematische verschillen. Echter, we zien ook dat de verschillen op een bepaalde diepte soms gering zijn en soms groter zijn. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn de fouten in irrigatie en verdampingsvraag dat als input aan het model wordt opgegeven. Over langere termijn is geen sprake van uiteenlopende verschillen, waardoor we kunnen stellen dat de berekende watergehalten en de trends daarin vrij goede informatie kan geven aan de teler om zijn/haar watergeefstrategie te beoordelen.

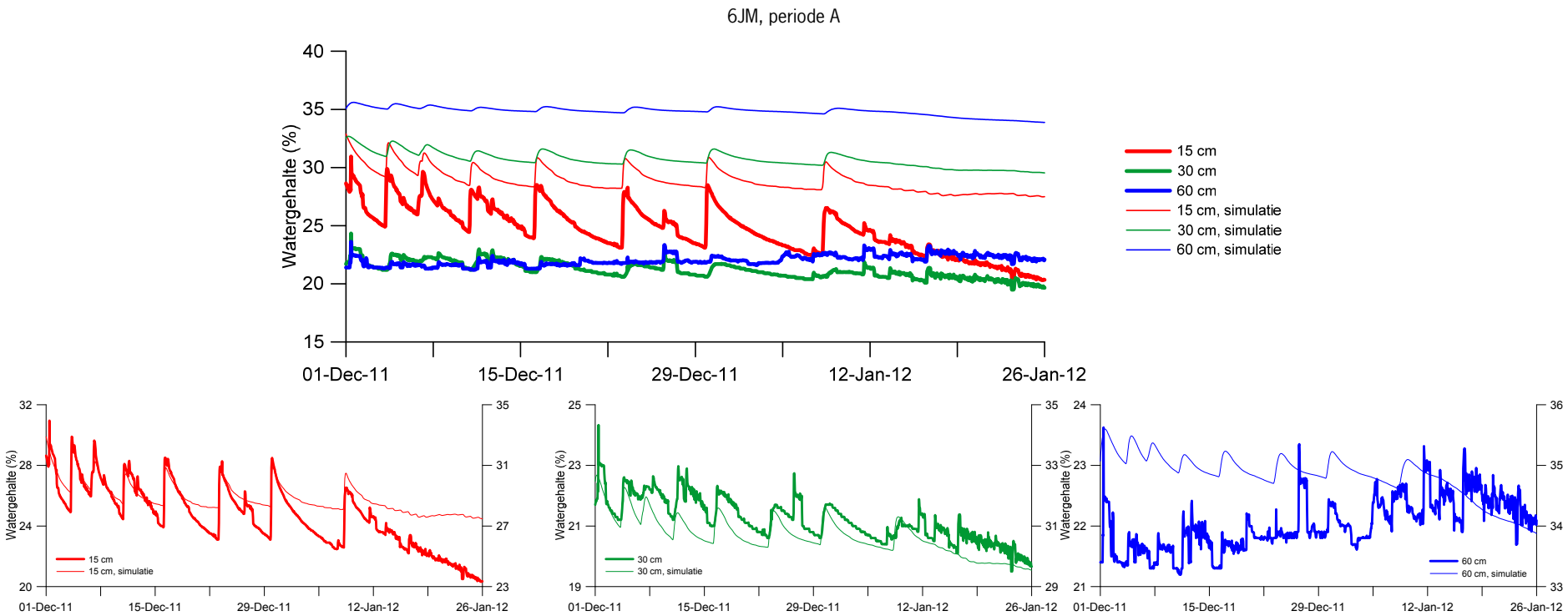
ad b)
De gemeten en gesimuleerde watergehalten op drie diepten in de lysimeter voor de overige acht bedrijven is weergegeven in figuur 13. Er zijn bedrijven waar de dynamiek in gemeten en gesimuleerde watergehalten zeer gering is (ook geringe uitslag tijdens gietbeurten). De trends zijn vaak vergelijkbaar. Maar er zijn ook uitzonderingen. Bij 1AB wordt in juni 2012 een grote stijging van het watergehalte op 15 cm diepte berekend maar de gemeten stijging is geringer. Bij 5HV lijken de metingen op 15 cm diepte meer dynamiek te vertonen dan berekend.

ad c)
De overeenkomst in niveau en dynamiek van de gesimuleerde watergehalten binnen en buiten de lysimeter (figuur 14) is zeer groot bij drie telers (1AB, 5HV, en 6JM). Dit is voor een groot deel toe te schrijven aan het feit dat de grondwaterstand bij deze drie bedrijven zeer dicht ligt bij onderkant van de lysimeter. Bakker et al. (2011) gaven al aan dat onder deze condities de lysimeter het beste kan functioneren, en de toestand in de lysimeter vergelijkbaar zal verlopen als daarbuiten.

Bij vier bedrijven (2BN, 3BV, 7KG, 8KT) wordt in de lysimeter een uitdrogende situatie gesimuleerd, terwijl in de referentiesituatie het niveau constant blijft. De meetgegevens voor 8KT zijn onbetrouwbaar, waardoor het lastig is te beoordelen of de lysimeter en het model hier goed functioneren of niet. Bij 2BN en 7KG is de grondwaterstand op gelijk niveau als de onderkant van de lysimeter. Dit voldoet aan de vereisten voor goed functioneren van de lysimeter (Bakker et al., 2011). De gesimuleerde uitdroging in de lysimeter kunnen we alleen dan begrijpen als de opgelegde verdamping te groot is geweest (dan wel de gemeten irrigatie te laag). Dat er buiten de lysimeter (referentie) geen verdroging wordt waargenomen duidt op capillaire nalevering vanuit het grondwater, wat in de lysimeter is uitgesloten. Het verdampingsmodel is tot op heden niet goed getest voor de gewassen die op deze twee bedrijven worden geteeld. Bij 3BV ligt de grondwaterstand wat dieper dan de onderkant van de lysimeter, en er wordt een gewas geteeld waarvoor het verdampingsmodel nog niet eerder is toegepast.

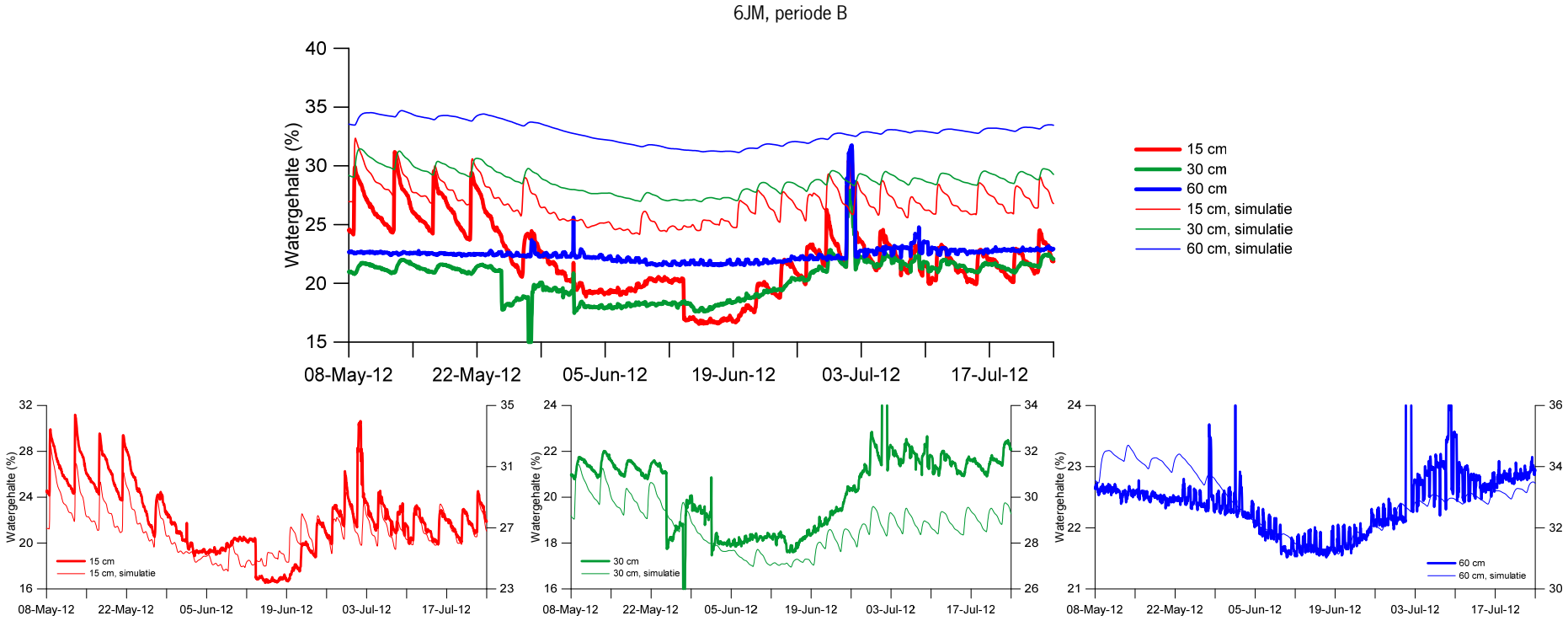
Bij 4GE wordt in de lysimeter een veel nattere toestand berekend dan daar buiten, maar de dynamiek binnen en buiten de lysimeter is vrij vergelijkbaar. Bij deze locatie is de grondwaterstand veel dieper (250 cm –mv) dan de onderkant van de lysimeter (90 cm –mv). Hierdoor is het zeer aannemelijk dat in de lysimeter in situaties met een beregeningsoverschot nattere toestanden heersen dan daar buiten.

Bij 9VV ligt de grondwaterstand wat dieper dan de onderkant van de lysimeter. Er is in de lysimeter een periode met uitdroging (eind 2011 – begin 2012) en een periode met vernatting (medio 2012) die niet in de referentiesituatie zichtbaar is. In de lysimeter worden ook iets hogere watergehalten berekend.



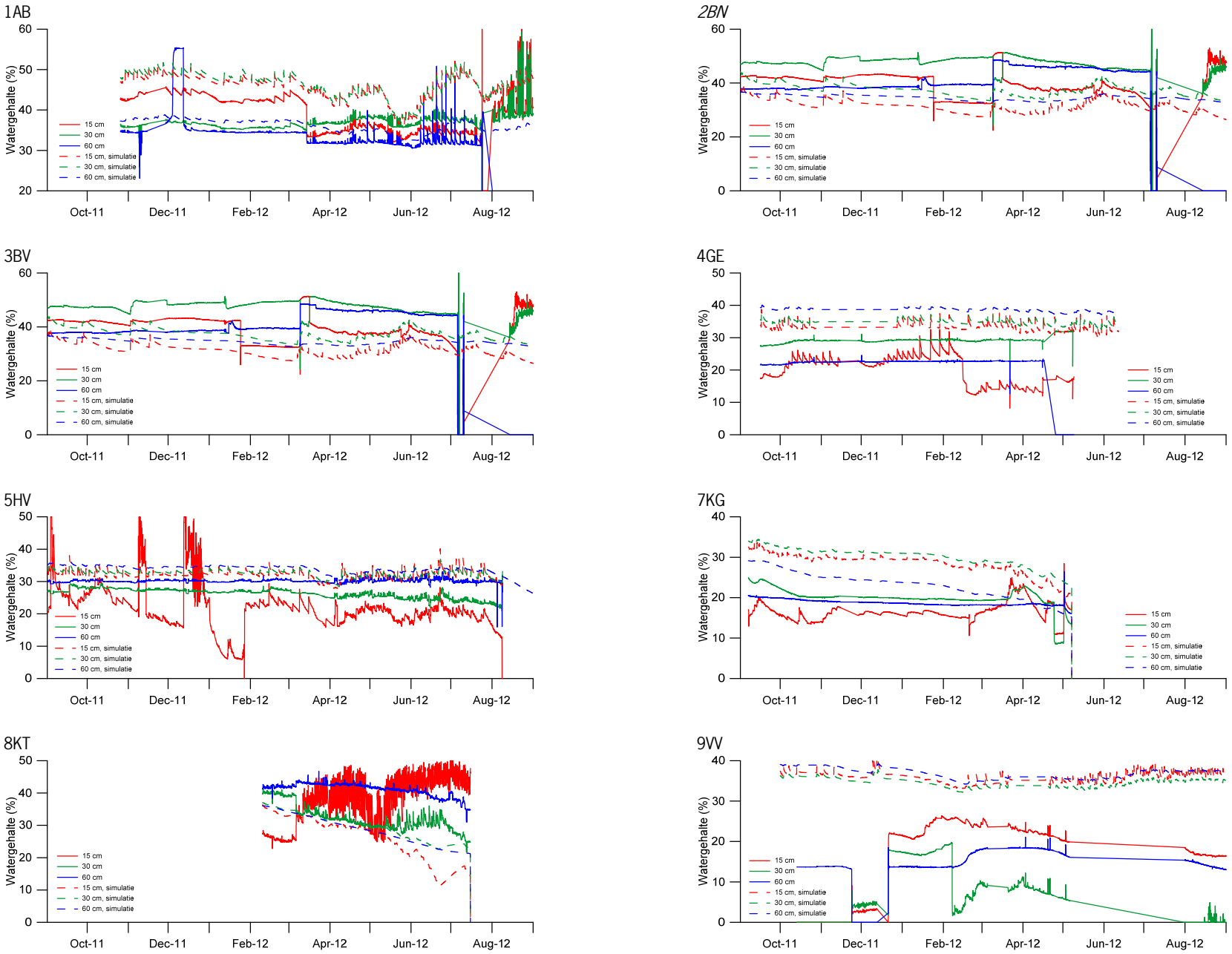
Figuur 11

Tijdsverlopen van gemeten en gesimuleerde watergehalten (volume procenten) op drie diepten in de lysimeter voor bedrijf 6JM voor periode A.



Figuur 12

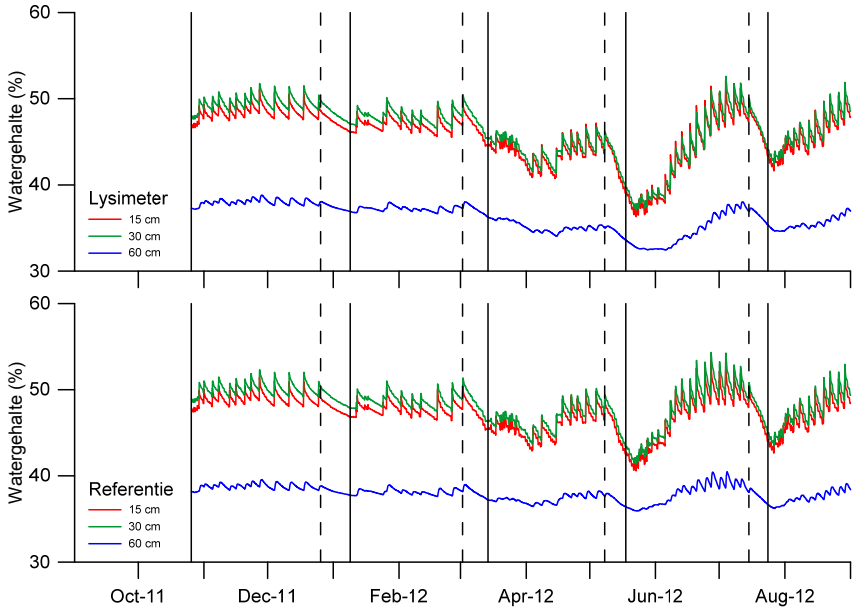
Tijdsverlopen van gemeten en gesimuleerde watergehalten (volume procenten) op drie3 diepten in de lysimeter voor bedrijf 6JM voor periode B.



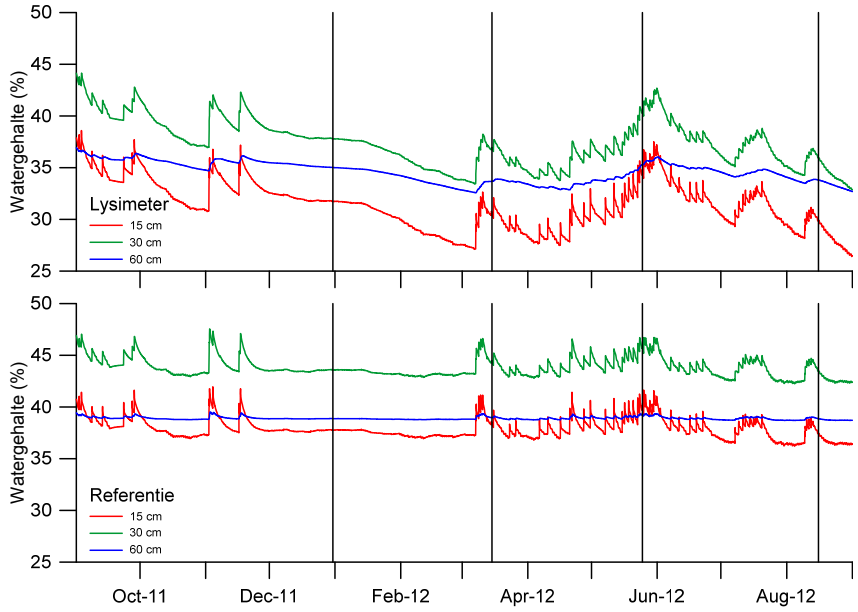
Figuur 13

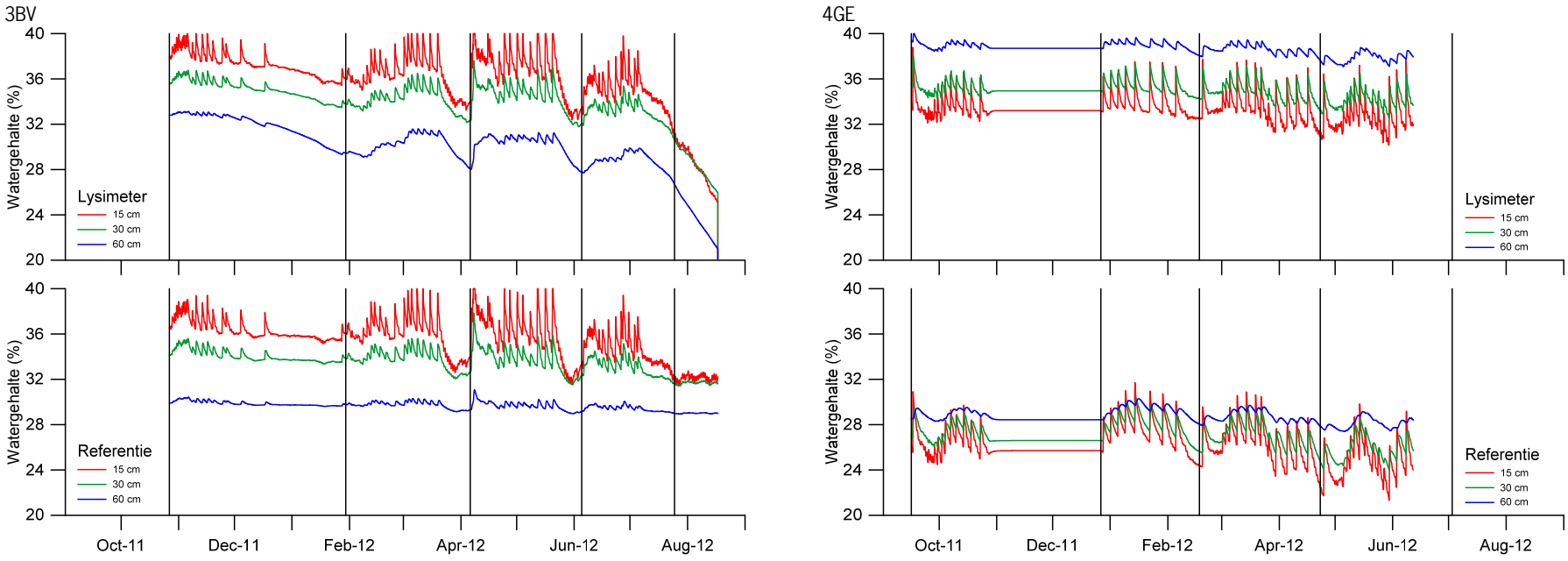
Tijdsverlopen van gemeten en gesimuleerde watergehalten (volume procenten) op drie diepten voor acht bedrijven (in de lysimeter).

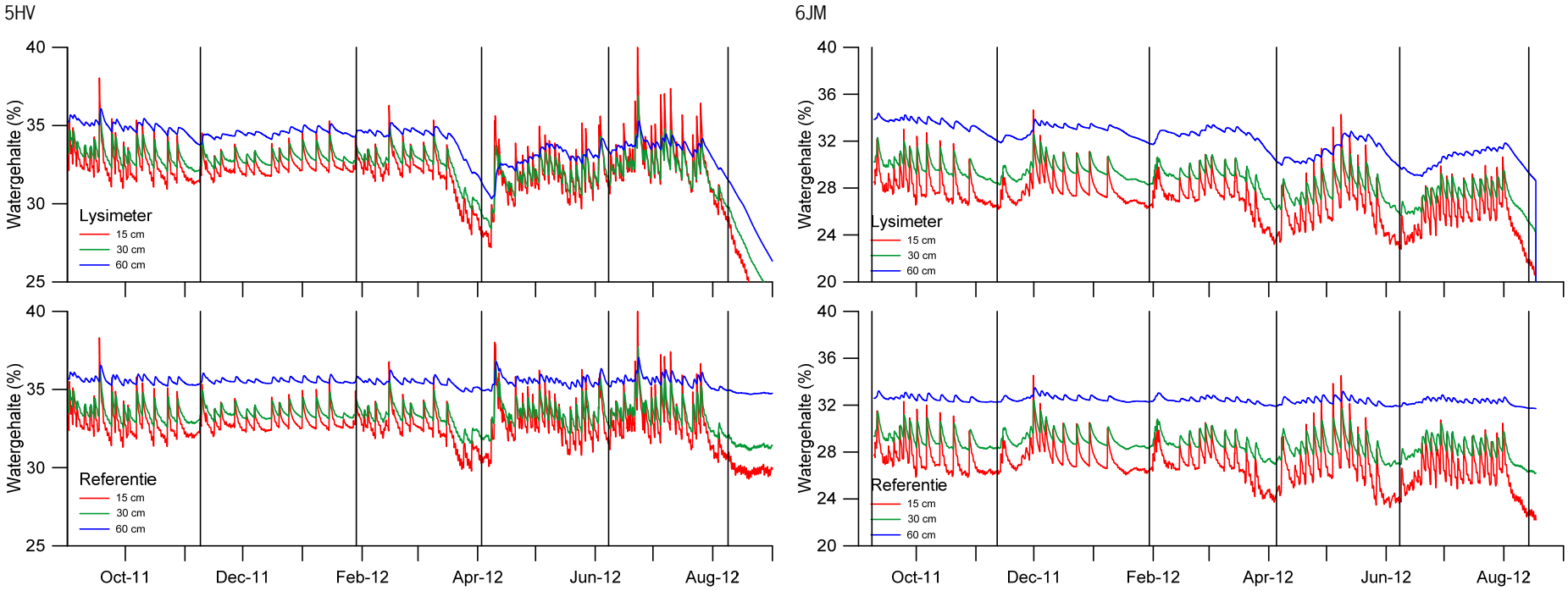
1AB

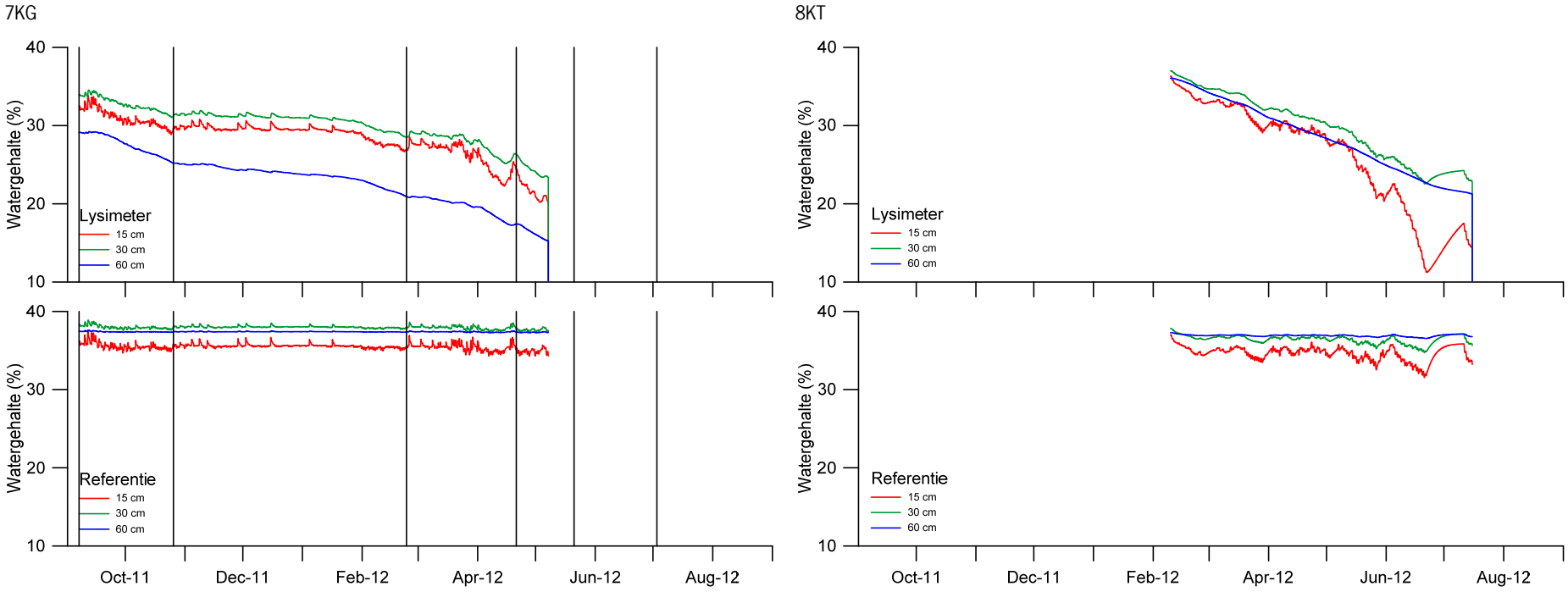

Watergehalte (%)
Lysimeter
15 cm
30 cm
60 cm
Referentie
15 cm
30 cm
60 cm
Oct-11
Dec-11
Feb-12
Apr-12
Jun-12
Aug-12

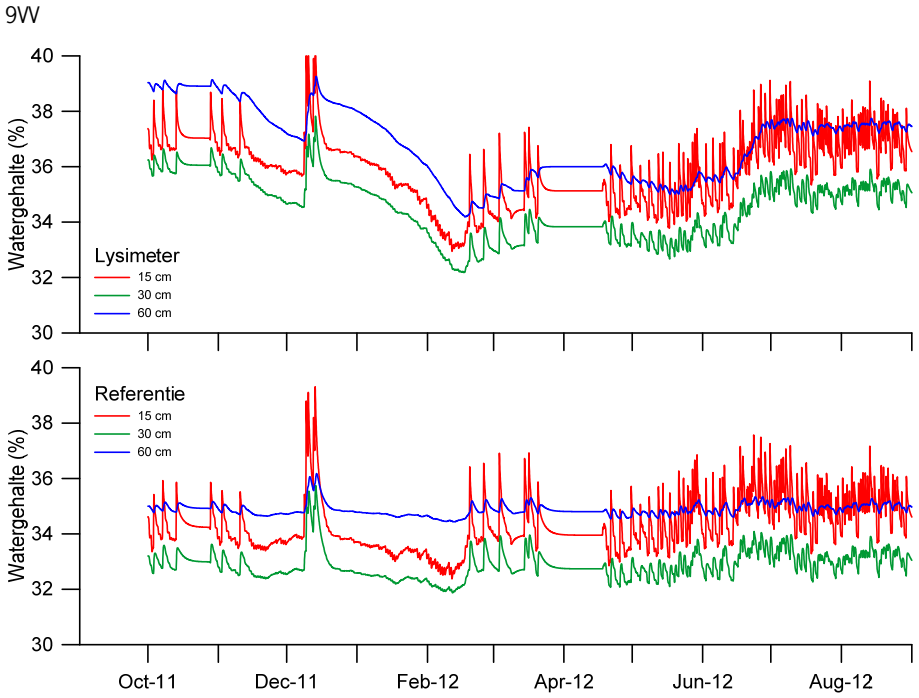
2BN


Watergehalte (%)
Lysimeter
15 cm
30 cm
60 cm
Referentie
15 cm
30 cm
60 cm
Oct-11
Dec-11
Feb-12
Apr-12
Jun-12
Aug-12


3BV
4GE
Watergehalte (%)
40
36
32
28
24
20
Lysimeter
Referentie
15 cm
30 cm
60 cm
Oct-11
Dec-11
Feb-12
Apr-12
Jun-12
Aug-12


5HV
6JM
Watergehalte (%)
Lysimeter
Referentie
15 cm
30 cm
60 cm
Oct-11
Dec-11
Feb-12
Apr-12
Jun-12
Aug-12


7KG
8KT
Watergehalte (%)
40
30
20
10
Lysimeter
15 cm
30 cm
60 cm
Referentie
15 cm
30 cm
60 cm
Oct-11
Dec-11
Feb-12
Apr-12
Jun-12
Aug-12



Figuur 14

Gesimuleerde tijdsverlopen van watergehalten (volume-procenten) op drie diepten voor negen bedrijven voor binnen en buiten de lysimeter.

3.3 Correctiefactor verdamping

De totale irrigatie, drain, verdamping volgens het verdampingsmodel (vergelijking [1]), verdamping volgens de massabalans (vergelijking [5]), de correctiefactor F_{ET} (vergelijking [6], en het percentage drain (=100%*drain/irrigatie) voor alle afzonderlijke teelten voor de negen bedrijven zijn weergegeven in tabel 7. Zoals eerder genoemd zijn bij de eerste teelten per bedrijf de metingen niet betrouwbaar, zodat de waarde voor F_{ET} niet betrouwbaar is. De verdamping volgens de balansmethode kan alleen worden toegepast als er drain is gerealiseerd. Als er geen drain ontstaat, kan namelijk niet worden uitgesloten dat de bodem indroogt. Hier is ervoor gekozen dat er minimaal 1% drain in een teelt moet zijn bereikt om een betrouwbare schatting voor F_{ET} te verkrijgen. Per bedrijf worden de gegevens in rood betrouwbaar geacht om een waarde voor F_{ET} te berekenen; het totaal in rood omvat dan ook alleen de totalen over die teelten. Samenvattend geldt:

- Voor 1AB ligt F_{ET} in de range 0.72 en 1.10, met een gemiddelde over vier teelten van 0.89.
- Voor 2BN ligt F_{ET} in de range 0.43 en 1.66, met een gemiddelde over vier teelten van 1.09.
- Voor 3BV ligt F_{ET} in de range 0.82 en 0.98, met een gemiddelde over twee teelten van 0.91.
- Voor 4GE ligt F_{ET} in de range 0.70 en 0.92, met een gemiddelde over twee teelten van 0.86.
- Voor 5HV ligt F_{ET} in de range 0.52 en 1.13, met een gemiddelde over vijf teelten van 0.89.
- Voor 6JM ligt F_{ET} in de range 0.38 en 1.45, met een gemiddelde over vijf teelten van 0.92.
- Voor 7KG ligt F_{ET} in de range 0.30 en 0.54, met een gemiddelde over vier teelten van 0.41.
- Voor de twee groente-telers (8KT, 9VV) zijn de meetdata of onbetrouwbaar of er is geen drain gemeten, zodat we hiervoor geen F_{ET}-waarden kunnen berekenen.

Het is opvallend dat voor de vier chrysantentelers (1AB, 4GE, 5HV, 6JM) en de teler van matricaria (familie van chrysant; 3BV) de gemiddelde waarde voor F_{ET} zeer dicht bij elkaar liggen en 0.9 bedraagt. Weliswaar is de spreiding tussen de teelten vrij groot. Mogelijk dat hierbij toch een rol speelt dat de bergingsverandering niet altijd gelijk aan nul is geweest. Echter, die grote range [0.38, 1.45] is waargenomen bij één teler (6JM) in twee opeenvolgende teelten, maar het verloop van de gemeten watergehalten duidt niet op bergingsveranderingen (figuur 13).

Tabel 7

Overzicht van de gemeten waterbalanstermen irrigatie en drain (beiden in mm), de met het verdampingsmodel berekende verdamping ET (vergelijking [1]; mm), de geschatte verdamping ET (vergelijking [5]; mm), de berekende correctiefactor F_{ET} (vergelijking [6]; mm mm^{-1}), en het percentage drain (100%*drain/irrigatie) voor de negen bedrijven uitgesplitst per teelt en voor alle teelten tezamen. De meetgegevens voor de in rood aangegeven teelten en totalen zijn het meest betrouwbaar.*

Bedrijf, teelt		Start	Irrigatie	Drain	*ET*	ET*	F_{ET}	%Drain
1AB	**1**	10-02-2011	65.79	6.72	132.61	59.07	a	10.21
	2	14-04-2011	224.03	80.30	243.40	143.73	a	35.84
	3	16-06-2011	277.11	97.46	213.81	179.65	a	35.17
	4	23-08-2011	202.18	61.24	154.05	140.95	a	30.29
	5	26-10-2011	125.98	39.26	78.64	86.72	1.10	31.16
	6	09-01-2012	93.22	15.82	95.08	77.40	0.81	16.97
	7	14-03-2012	136.14	1.51	186.20	134.63	0.72	1.11
	8	18-05-2012	144.02	10.61	128.37	133.40	1.04	7.37
	9	24-06-2012	298.70	0.01	244.76	298.70	b	0.00
Totaal			**1567.18**	**312.92**	**1476.93**	**1254.26**	**c**	**19.97**
Totaal			**499.36**	**67.20**	**488.29**	**432.16**	**0.89**	**13.46**

Bedrijf, teelt		Start	Irrigatie	Drain	*ET*	ET*	F_{ET}	%Drain
2BN	**1**	16-03-2011	124.44	1.61	121.67	122.83	a	1.29
	2	26-05-2011	134.24	2.45	126.05	131.79	a	1.83
	3	19-08-2011	155.16	7.71	88.81	147.45	1.66	4.97
	4	31-12-2011	33.40	9.38	56.00	24.02	0.43	28.09
	5	15-03-2012	139.20	19.18	104.46	120.02	1.15	13.78
	6	25-05-2012	128.36	7.89	129.09	120.47	0.93	6.15
	7	16-08-2012	0.00	0.00	30.54	0.00	d	0.00
Totaal			**714.80**	**48.23**	**656.63**	**666.57**	**c**	**6.75**
Totaal			**456.12**	**44.17**	**378.37**	**411.95**	**1.09**	**9.68**
3BV	**1**	01-03-2011	205.23	132.37	238.11	72.87	a	64.50
	2	12-05-2011	203.45	37.42	158.51	166.04	a	18.39
	3	02-07-2011	263.14	33.20	177.04	229.95	a	12.62
	4	29-08-2011	85.85	32.16	145.37	53.70	a	37.46
	5	27-10-2011	123.19	40.53	101.04	82.66	0.82	32.90
	6	30-01-2012	145.03	10.84	136.85	134.20	0.98	7.47
	7	06-04-2012	236.47	0.00	197.35	236.47	b	0.00
	8	05-06-2012	137.92	0.26	161.52	137.66	b	0.19
	9	25-07-2012	0.00	0.00	150.59	0.00	d	0.00
Totaal			**1400.30**	**286.77**	**1466.37**	**1113.54**	**c**	**20.48**
Totaal			**268.22**	**51.36**	**237.88**	**216.86**	**0.91**	**19.15**
4GE	**2**	03-05-2011	162.46	17.85	247.50	144.61	a	10.99
	3	11-07-2011	191.50	9.77	194.25	181.73	a	5.10
	4	16-09-2011	115.05	62.17	98.61	52.88	a	54.04
	5	27-12-2011	98.48	56.18	60.17	42.30	0.70	57.05
	6	18-02-2012	165.67	27.06	149.96	138.61	0.92	16.33
	7	23-04-2012	196.56	0.04	219.94	196.52	b	0.02
	8	03-07-2012	233.66	0.00	217.43	233.66	b	0.00
Totaal			**1163.39**	**173.07**	**1187.87**	**990.31**	**c**	**14.88**
Totaal			**264.15**	**83.24**	**210.13**	**180.92**	**0.86**	**31.51**
5HV	**1**	09-02-2011	89.66	8.06	115.70	81.60	a	8.99
	2	19-04-2011	274.07	90.71	237.92	183.35	a	33.10
	3	28-06-2011	191.77	16.68	180.82	175.09	a	8.70
	4	01-09-2011	166.12	48.74	156.63	117.38	0.75	29.34
	5	09-11-2011	101.09	22.44	79.54	78.66	0.99	22.19
	6	29-01-2012	93.22	22.75	135.25	70.47	0.52	24.40
	7	03-04-2012	242.57	16.97	200.01	225.60	1.13	7.00
	8	08-06-2012	244.60	52.11	197.63	192.49	0.97	21.30

Bedrijf, teelt		Start	Irrigatie	Drain	*ET*	ET*	F_{ET}	%Drain
	9	09-08-2012	0.00	0.00	89.35	0.00	d	0.00
Totaal			**1403.10**	**278.46**	**1392.86**	**1124.64**	**0.81**	**19.85**
Totaal			**847.60**	**163.00**	**769.06**	**684.59**	**0.89**	**19.23**
6JM	1	24-02-2011	92.46	0.09	144.86	92.36	a	0.10
	2	30-04-2011	212.85	6.05	241.25	206.80	a	2.84
	3	05-07-2011	189.99	52.21	190.71	137.78	a	27.48
	4	08-09-2011	150.90	98.17	137.89	52.73	0.38	65.05
	5	12-11-2011	131.32	20.58	74.99	110.74	1.48	15.67
	6	30-01-2012	122.43	3.62	137.44	118.80	0.86	2.96
	7	05-04-2012	200.41	3.01	201.75	197.39	0.98	1.50
	8	08-06-2012	213.87	6.59	197.43	207.27	1.05	3.08
	9	07-08-2012	1.02	18.48	26.45	-17.46	d	1818.99
	10	14-08-2012	0.00	0.00	76.01	0.00	d	0.00
Totaal			**1315.24**	**208.80**	**1428.79**	**1106.43**	**c**	**15.88**
Totaal			**818.92**	**131.97**	**749.50**	**686.95**	**0.92**	**16.12**
7KG	1	16-05-2011	193.55	32.00	182.34	161.55	a	16.53
	2	11-07-2011	156.21	29.06	148.03	127.15	a	18.60
	3	07-09-2011	54.36	12.43	97.33	41.93	0.43	22.86
	4	26-10-2011	33.02	0.00	92.26	33.02	b	0.01
	5	24-02-2012	68.33	0.26	116.16	68.06	0.59	0.38
	6	21-04-2012	86.11	51.43	81.95	34.67	0.42	59.73
	7	21-05-2012	82.55	9.91	134.17	72.64	0.54	12.00
	8	03-07-2012	184.91	125.44	198.39	59.48	0.30	67.84
Totaal			**859.03**	**260.53**	**1050.65**	**598.50**	**c**	**30.33**
Totaal			**407.92**	**199.20**	**511.85**	**208.72**	**0.41**	**48.83**
8KT	1	01-01-2011	45.24	1.26	41.93	43.97	a	2.79
	2	01-04-2011	270.26	68.49	317.58	201.77	a	25.34
	3	01-07-2011	223.16	75.56	291.03	147.60	a	33.86
	4	01-10-2011	72.04	0.00	69.28	72.04	a	0.00
	5	10-02-2012	38.95	6.15	109.32	32.80	a	15.79
	6	01-04-2012	134.81	0.32	265.60	134.49	a	0.24
	7	01-07-2012	61.46	0.00	197.36	61.46	a	0.00
Totaal			**845.92**	**151.78**	**1292.10**	**694.13**	**c**	**17.94**
9VV	1	01-01-2011	40.16	0.00	47.32	40.16	b	0.00
	2	01-04-2011	276.47	0.19	262.85	276.28	b	0.07
	3	01-07-2011	253.31	0.27	240.95	253.04	b	0.11

Bedrijf, teelt	Start	Irrigatie	Drain	*ET*	ET*	F_{ET}	%Drain
4	01-10-2011	79.96	0.12	66.32	79.84	b	0.15
5	01-01-2012	70.30	0.00	94.99	70.30	b	0.00
6	01-04-2012	302.70	0.13	274.66	302.57	b	0.04
7	01-07-2012	298.38	0.01	242.12	298.36	b	0.00
Totaal		**1321.28**	**0.72**	**1229.21**	**1320.55**	**c**	**0.05**

a: bij de eerste teelten was sprake van veel meetproblemen, zodat er geen F_{ET} berekend kan worden; b: F_{ET} wordt niet berekend als drain percentage < 1%; c: F_{ET} wordt niet berekend voor de totalen over alle teelten; d: geen irrigatiegegevens bekend zodat F_{ET} niet berekend kan worden.

De berekening van F_{ET} is voor de vier chrysantentelers herhaald waarbij voor de irrigatie gegevens uit de klimaatcomputer zijn gebruikt (dus niet de gemeten hoeveelheden in de lokale regenmeter). Door verschillen in gehanteerde irrigatie worden daarbij verschillende schattingen voor F_{ET} verkregen, die zijn vermeld in tabel 8. Voor 1AB en 4GE zijn de verschillen tussen de twee schattingen van F_{ET} gering, omdat de lokaal gemeten irrigatie overeenkomt met de gegevens uit de klimaatcomputer. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat voor 4GE van de vier beschikbare datasporen uit de klimaatcomputer (dag-gegevens Kraan 51, dag-gegevens Kraan 53, 5-minuten gegevens Kraan 51, 5-minuten gegevens Kraan 53) die gegevens zijn gekozen waarbij de totale gift aan water voor de beschouwde periode het dichts bij de metingen lag (5-minuten gegevens Kraan 53). Zowel de metingen met de lokale regenmeter nabij de lysimeter als de metingen via de watermeters op de klimaatcomputer kunnen afwijken van de werkelijkheid. De regenmeter kan vervuild raken, op een niet representatieve plaats staan etc., en de flowmeters kunnen vervuild zijn, niet (goed) gekalibreerd zijn. Bovendien kan de meetwaarde van de flow meter afwijken van de lokale afgifte bij de lysimeters door vervuiling in doppen, kraanleidingen, onjuiste leidingconfiguratie waardoor drukval, en bij korte gietbeurten opstartverlies e.d. Er is dus niet aan te geven welke van beide methoden het beste is. Wel is het zo dat de waarden voor $F_{ET,1}$ en $F_{ET,2}$ vaak dezelfde kant (<1 of >1) op wijzen.

Voor 5HV en 6JM wordt een lagere F_{ET} verkregen als irrigatiegegevens uit de klimaatcomputer worden gebruikt: 0.8 versus 0.9.

Voor het bedrijf met matricaria (3BV) waren geen irrigatiegegevens uit de klimaatcomputer beschikbaar en kon deze exercitie niet worden uitgevoerd.

Tabel 8

Vergelijking verschillen in berekende correctiefactor F_{ET} als lokaal gemeten irrigatie (1) of de irrigatie volgens de gegevens uit de klimaatcomputer (2) worden gebruikt voor vier chrysantenbedrijven.

Bedrijf, teelt		Start	Irrigatie regenmeter, 1	Irrigatie klimaatcomputer, 2	F_{ET}, 1	F_{ET}, 2
1AB	**5**	26-10-2011	125.98	127.01	1.10	1.12
	6	09-01-2012	93.22	87.71	0.81	0.76
	7	14-03-2012	136.14	136.76	0.72	0.73
	8	18-05-2012	144.02	150.48	1.04	1.09
Totaal			**499.36**	**501.96**	**0.89**	**0.89**

Bedrijf, teelt		Start	Irrigatie regenmeter, 1	Irrigatie klimaatcomputer, 2	F_{ET}, 1	F_{ET}, 2
4GE	**5**	27-12-2011	98.48	96.45	0.70	0.67
	6	18-02-2012	165.67	179.54	0.92	1.02
Totaal			**264.15**	**275.99**	**0.86**	**0.92**
5HV	**4**	01-09-2011	166.12	168.88	0.75	0.77
	5	09-11-2011	101.09	109.00	0.99	1.09
	6	29-01-2012	93.22	91.38	0.52	0.51
	7	03-04-2012	242.57	201.71	1.13	0.92
	8	08-06-2012	244.60	217.38	0.97	0.84
Totaal			**847.60**	**788.35**	**0.89**	**0.81**
6JM	**4**	08-09-2011	150.90	128.50	0.38	0.22
	5	12-11-2011	131.32	111.12	1.48	1.21
	6	30-01-2012	122.43	106.80	0.86	0.75
	7	05-04-2012	200.41	149.14	0.98	0.72
	8	08-06-2012	213.87	231.15	1.05	1.14
Totaal			**818.92**	**726.71**	**0.92**	**0.79**

3.4 Effect bodemfysische eigenschappen

Voor het bedrijf 1AB zijn berekeningen uitgevoerd met de bodemfysische eigenschappen verkregen uit de vertaalfunctie en verkregen uit de laboratoriummetingen (zoals gegeven in tabel 5). Op deze manier krijgen we een indruk van de verschillen in voorspelde drain voor beide manieren van bodemfysische karakterisering (figuur 15).

Voor de eerste teelt is het verschil tussen beide simulaties een paar mm drain. De gemeten drain komt voor die teelt lager uit. In de periode november-december 2011 is gedurende lange tijd geen drain gemeten. Zeer waarschijnlijk was de drainmeter verstopt, en is vervolgens begin december de drain in vrij korte tijd afgepompt (snelle stijging gemeten drain). Mogelijk is een deel van de drain via een overloop verloren gegaan, waardoor het totaal gemeten tijdens de eerste teelt lager uitkomt dan gesimuleerd.

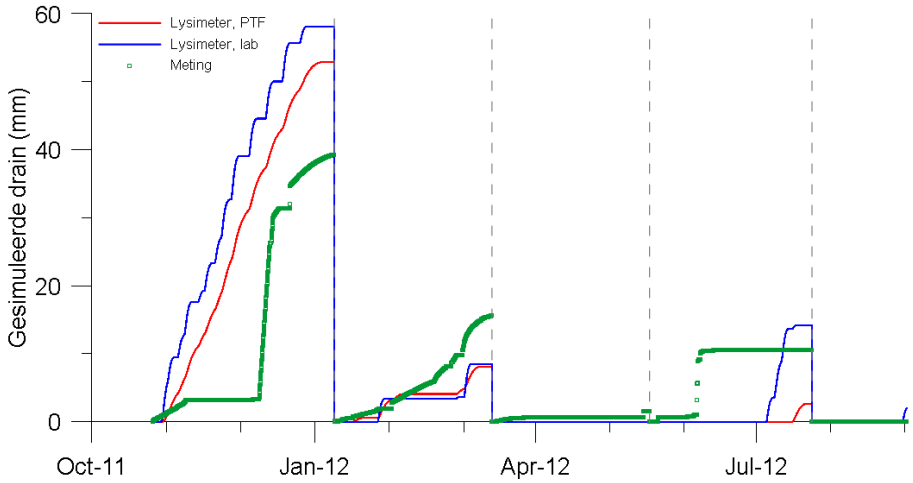
Voor de tweede teelt wordt iets meer drain gemeten dan gesimuleerd. De verschillen tussen beide simulaties is nihil.
Tijdens de derde teelt is nauwelijks drain gemeten, en ook niet gesimuleerd.

Tijdens de vierde teelt is een groot verschil in startmoment van de drain: de gemeten drain start veel eerder dan gesimuleerd. De berekende drain met de laboratorium fysische eigenschappen komt een veel hoger uit dan de berekende drain met de vertaalfunctie eigenschappen. Gezien het gelijkmatige verloop van de watergeefbeurten tijdens deze teelt is ook hier mogelijk sprake van uitpompen van een verstopte drainmeter. In dat geval geldt dat de gesimuleerde drain aan het eind van de teelt niet wordt onderschreven door gemeten drain. Of er was werkelijk geen drain of ook toen was de drainmeter verstopt.

Tijdens de vijfde teelt (tot aan 01-09-2012) is geen drain gemeten, en ook niet gesimuleerd.

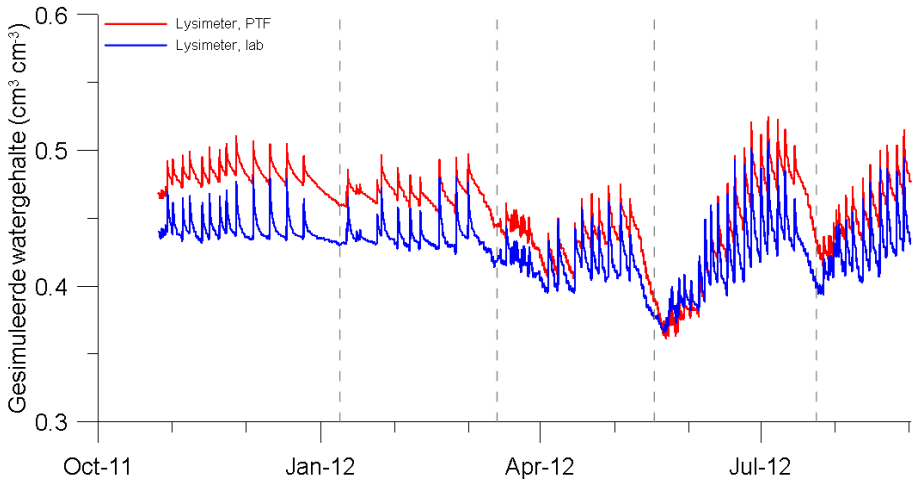
De berekende drain volgens de twee gehanteerde bodemfysische eigenschappen leiden tot verschillen in berekende drain. Maar, omdat er toch wat vraagtekens bij de drainmetingen geplaatst kunnen worden, zijn we niet in staat te concluderen of één van beiden beter is dan de andere. Wel is duidelijk dat ze in sommige situaties verschillende voorspellingen van de drain kunnen opleveren.

In figuur 16 zijn de verlopen van berekend watergehalte boven in de lysimeter (12.5 cm -mv) gegeven voor beide berekeningen. Als gevolg van de verschillende waterretentiekarakteristieken is het gemiddelde niveau iets verschillend als ook de amplitude van de pieken direct na een watergeefbeurt. Maar, de algemene trends zijn gelijk.



Figuur 15

Tijdsverlopen van gemeten en gesimuleerde drain volgens twee bodemfysische karakteriseringen voor bedrijf 1AB.



Figuur 16

Tijdsverlopen van gesimuleerd watergehalte boven in de lysimeter (12.5 cm -mv) volgens twee bodemfysische karakteriseringen voor bedrijf 1AB.

4 Conclusies en aanbevelingen

De onderdelen van het emissiemanagement systeem waarbij gemeten grootheden worden ingelezen en opgeslagen in een database, en grafisch worden weergegeven functioneren goed. Eventueel ontbrekende gegevens verstoren hierbij niet en leiden alleen tot ontbrekende gegevens in de grafische weergave. Bij weergaven van cumulatieven ontstaan weliswaar 'plateaus' in de weergaven maar kunnen eventueel later handmatig geïnterpoleerd worden.

Als gegevens ontbreken of onjuist zijn in een reeks, die binnen het emissiemanagementsysteem wordt gebruikt voor aanvullende berekeningen (verdampingsmodel, bodemmodel), dan leidt dit tot verkeerde aanvullende berekeningen. Het gevaar bestaat dat op deze manier de fout in eerste instantie onterecht gezocht wordt in de modellen die de aanvullende berekeningen uitvoeren.

Verschillen in watergehalte dan wel verschillen in watergehaltetrends binnen en buiten de lysimeter kunnen veroorzaakt worden door:

a) mogelijke capillaire opstijging buiten de lysimeter die in de lysimeter niet mogelijk is waardoor de lysimeter uit kan drogen;
b) een diepere of een ondiepere grondwaterstand buiten de lysimeter waardoor verschillende vochttoestanden heersen binnen en buiten de lysimeter; dit kan betekenen dat de stikstofprocessen binnen en buiten de lysimeter anders verlopen, waardoor de stikstofuitspoeling in de lysimeter niet representatief is voor de situatie buiten de lysimeter. Dit laatste moet nog nader bestudeerd worden.

De gemeten uitspoeling onder in de lysimeter van water en vooral van stikstof is alleen dan juist als de grondwaterspiegel vrij constant op gelijk niveau is als de onderkant van de lysimeter.

De modelvoorspellingen van uitspoeling worden beïnvloed door de gekozen bodemfysische karakteristieken. Voor een juiste modelvoorspelling zullen daarom altijd minimaal een aantal basiseigenschappen van de bodem op een specifiek bedrijf noodzakelijk zijn.

Als over een lange periode de bergingsverandering in het bodemprofiel (lysimeter) verwaarloosbaar klein is en er regelmatig drain is geregistreerd in die periode, dan kan de verdamping geschat worden uit de waterbalans: irrigatie minus drain. Deze kan worden vergeleken met de geschatte verdamping uit het verdampingsmodel, hetgeen een correctiefactor (F_{ET}) oplevert voor het verdampingsmodel. Uit de metingen is gebleken dat de bergingsverandering per teelt echter niet altijd gelijk is aan nul. Dus moet een voldoende lange periode gekozen worden (bijvoorbeeld een jaar). Voor de chrysantenteelt op de bedrijven in dit project bleek dat de verdamping met een factor 0.9 moet worden verlaagd.

Telers hebben vaak meerdere teelten op hun bedrijf staan in verschillende fases, zoals bijvoorbeeld in de chrysantenteelt. De watergeefbeurt in die teeltvakken kan dan niet één-op-één gekopieerd worden van het teeltvak waar de lysimeter staat. Door de hoge investerings- en onderhoudskosten kunnen sensoren en lysimeters ook maar in één of hooguit enkele teeltvakken geïnstalleerd worden. Het emissiemanagementsysteem biedt dan de mogelijkheid om modellen voor gewasverdamping en bodemuitspoeling in te zetten in de teeltvakken zonder monitoring, maar die dan wel de situatie beschrijft behorende bij het teeltstadium in het betreffende teeltvak. De kennis die de teler opdoet in het vak met de lysimeter/drainmeter en de vochtsensoren kan ingevoerd worden in die modellen in parametervorm, waardoor ook de andere teeltvakken optimaal geïrrigeerd of gefertigeerd kunnen worden.

Het systeem van een lysimeter om de uitspoeling te minimaliseren werkt het beste als er over een langere periode gezien een kleine hoeveelheid drain wordt gerealiseerd, immers alleen dan heeft de teler het systeem onder controle. Het realiseren van geen drain kan tot te droge situaties leiden in de kasgrond. Ook kan er via capillaire aanvoer zoutophoping in de bodem voorkomen. Te droge of te zoute plekken kunnen nadelige gevolgen hebben voor het gewas. In elk geval verdient het de sterke aanbeveling watergehaltesensoren op twee diepten binnen en buiten de lysimeter te gebruiken om al in een vroeg stadium via trendanalyse te kunnen zien of de gehanteerde watergeefstrategie leidt tot constante vochtomstandigheden, vernatting, of uitdroging in de bodem.

Referenties

Bakker, G., M. Heinen, F.B.T. Assinck en W. Voogt, 2011. Lysimeter als meetinstrument voor emissies in grondgebonden glastuinbouw. Modelmatige inventarisatie van randvoorwaarden en knelpunten voor een robuuste en betrouwbare lysimeter voor emissiemeting. Alterra-rapport 2105, Alterra, Wageningen.

Balendonck, J., W. Voogt, A. van Winkel, H. van Dorland, G.-J. Swinkels, H. Janssen, F. Zwinkels en M. Heinen, 2012. Ontwikkeling emissiemanagementsysteem grondgebonden teelt; bodemvochtsensoren en modulaire opbouw van het systeem. GTB-1191, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Darcy, H., 1856. Les fontaines publique de la ville de Dijon. Dalmont, Paris.

De Graaf, R. en L. Spaans, 1989. Automatisering watergeven bij teelten op substraat met behulp van een watergeefmodel. Intern Verslag Nr. 33. Proefstation voor Tuinbouw Onder Glas, Naaldwijk.

De Graaf, R. en J. van den Ende, 1981. Transpiration and evapotranspiration of the glasshouse crops. Acta Horticulturae 119: 147-158.

Elings, A., P.H.B. de Visser, L.F.M. Marcelis, M. Heinen, H.A.G.M. van den Boogaard, T.H.Gieling en B.E. Werner, 2004. Feed-forward control of water and nutrient supply in greenhouse horticulture: development of a system. Acta Horticulturae 654: 195-202.

Heinen M., 1997. Dynamics of water and nutrients in closed, recirculating cropping systems in glasshouse horticulture. With special attention to lettuce grown in irrigated sand beds. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.

Heinen M., 2001. FUSSIM2: brief description of the simulation model and application to fertigation scenarios. Agronomie 21: 285-296.

Heinen, M., 2005. Beschrijving module OSmanSoil. Een eenvoudig bodemmodel voor de beschrijving van waterbeweging, convectief stikstoftransport, water- en stikstofopname, denitrificatie, nitrificatie, en mineralisatie. Alterra-rapport 1261, Alterra, Wageningen.

Heinen, M., en P. de Willigen, 1998. FUSSIM2 A two-dimensional simulation model for water flow, solute transport and root uptake of water and nutrients in partly unsaturated porous media, Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 20, DLO Research Institute for Agrobiology and Soil Fertility and the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen.

Heinen M. en P. de Willigen (eds.), 2001. FUSSIM2 version 5. New features and updated user's guide. Alterra rapport 363, Alterra, Wageningen.

Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resources Research 12: 513-522.

Richards, L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. Physics 1: 318-333.

van Genuchten, M.Th. 1980., A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal 44: 892-898.

Voogt, W., F.B.T. Assinck, J. Balendonck, G. Blom-Zandstra, M. Heinen en F.H. de Zwart, 2002. Minimalisering van de uitspoeling bij teelten in kasgrond. Verslag van geïntegreerd onderzoek naar de mogelijkheden en effecten van minimalisering van de watergift bij chrysantenteelt. PPO rapport 543, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Sector Glastuinbouw, Naaldwijk.

Voogt, W., J.A. Kipp, R. de Graaf en L. Spaans, 2000. A fertigation model for glasshouse crops grown in soil. Acta Horticulturae 537: 495-502.

Voogt, W., J. Balendonck, M. Heinen, H. van Dorland, A. van Winkel en F. Zwinkels, 2012a. Ontwikkeling emissiemanagementsysteem grondgebonden teelt; de lysimeter en drainmeter. Bleiswijk, Wageningen UR Glastuinbouw, GTB-1190.

Voogt, W., J. Janse, , F. van der Helm, J. Balendonck, M. Heinen en A. van Winkel, 2012b. Ontwikkeling emissiemanagementsysteem grondgebonden teelt; toetsing op praktijkbedrijven. GTB-1193, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Voogt, W., G.J. Swinkels en E.A. van Os, 2012c. WATERSTREAMS': a Model for Estimation of Crop Water Demand, Water supply, Salt Accumulation and Discharge for Soilless Crops. Acta Hort. (in press).

Wösten, J.G.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. Alterra-rapport 153. Alterra, Wageningen.

Bijlage 1 Exponentiële verdeling van de wortellengtedichtheid

De exponentiële verdeling van de wortellengtedichtheid L_{rv} met de diepte z, bij een veronderstelde 'pootdiepte' van nul, luidt

$$L_{rv} = L_0 \exp(-\alpha_{SD} z) \qquad \text{[B1-1]}$$

waarin L_{rv} is de wortellengtedichtheid (cm cm^{-3}), z is de diepte (cm), L_0 is L_{rv} voor $z = 0$, en α_{SD} is een uitdovingscoëfficiënt (cm^{-1}). De wortellengte tot aan diepte z is gedefinieerd als $L(z)$ (cm cm^{-2})

$$L(z) = \int_0^z L_0 \exp(-\alpha_{SD} z) dz = \frac{L_0}{\alpha_{SD}} (1 - \exp(-\alpha_{SD} z)) \qquad \text{[B1-2]}$$

De totale wortellengte L_{tot} (cm cm^{-2}) in het profiel is gedefinieerd als

$$L_{tot} = \int_0^\infty L_0 \exp(-\alpha_{SD} z) dz = \frac{L_0}{\alpha_{SD}} \qquad \text{[B1-3]}$$

De fractie wortels tot aan diepte z is gedefinieerd als $y(z)$

$$y(z) = \frac{L(z)}{L_{tot}} = (1 - \exp(-\alpha_{SD} z)) \qquad \text{[B1-4]}$$

Als nu bekend is wat de totale wortellengte L_{tot} (cm cm^{-2}) is - dat berekend kan worden uit bijvoorbeeld de totale wortelmassa - en wat de fractie wortels is boven een bepaalde diepte, dan kunnen α_{SD} en L_0 berekend worden uit, respectievelijk, vergelijkingen [B1-4] en [B1-3].

De gemiddelde L_{rv} in een laag die zich uitstrekt van z_1 tot z_2 ($z_2 > z_1$) wordt berekend uit

$$L_{rv} = \frac{1}{\Delta z} \int_{z_1}^{z_2} L_0 \exp(-\alpha_{SD} z) dz = \frac{L_0}{\alpha} \frac{\exp(-\alpha_{SD} z_1) - \exp(-\alpha_{SD} z_2)}{z_2 - z_1} \qquad \text{[B1-5]}$$

Exponentiele verdeling houdt in dat wortels tot oneindige diepte aanwezig zijn. In werkelijkheid is er sprake van een maximale bewortelingsdiepte. Door nu te veronderstellen dat boven die maximale bewortelingsdiepte zich bijvoorbeeld 98% of 99% van de wortels bevinden, dan zijn alsnog α_{SD} en L_0 te berekenen. De wortels die zich volgens de exponentiele vergelijking onder de maximale bewortelingsdiepte bevinden kunnen vervolgens nog naar rato over de bovenste lagen verdeeld worden. In dat geval geldt voor de gemiddelde L_{rv} van laag z_1 tot z_2

$$L_{rv} = \frac{1}{f_{SD}} \frac{L_0}{\alpha_{SD}} \frac{\exp(-\alpha_{SD} z_1) - \exp(-\alpha_{SD} z_2)}{z_2 - z_1} \qquad \text{[B1-6]}$$

waarbij f_{SD} de fractie wortels boven de maximale bewortelingsdiepte (vergelijk met $y(z)$).

In de beschrijving van de wortelopname is niet de absolute wortellengte van belang, maar de relatieve verdeling van wortels over de lagen, ofwel de fractionele wortellengtedichtheid $f(z)$. Deze is te berekenen als

$$f(z) = \frac{L_{rv}}{L_{tot}} = \frac{1}{f_{SD}} \frac{\exp(-\alpha_{SD} z_1) - \exp(-\alpha_{SD} z_2)}{z_2 - z_1} \qquad \text{[B1-7]}$$

met α_{SD} gegeven door

$$\alpha_{SD} = -\frac{1}{SD}\ln(1 - f_{SD}) \qquad \text{[B1-8]}$$

waarin *SD* is de maximale bewortelingsdiepte (cm). De fractionele beworteling is dus te bereken op basis van slechts twee kengetallen: *SD* en f_{SD}, waarbij f_{SD} als een constante parameter beschouwd kan worden met als waarde, zeg, 0.98. De totale wortel biomassa of totale wortellengte doet er in dat geval dus niet toe.

Bijlage 2 Bodemprofielbeschrijvingen

Auteurs: Simone Verzandvoort, Willy de Groot, m.m.v. Henk Vroon, Jan Wesseling

1AB

Profielkuil	datum	20-12-2010		[redacted]															
Profielbeschrijving							Landgebruik:	kascomplex											
standaardpunter	M4p235c	VII			bewortelbare diepte 100cm	100		Chrysanten											
vlakcode	pMn85C	VIIo	GHG	85	GLG	130		Gemiddelde GHG en GLG:			108								
horizont	**horizont-diepte**	**grens**	**grens**	**kleur**	**humus**	**lutum**	**silt**	**kalk**	**rijping**	**geologische code**	**vlekken**	**vochtigheids-toestand**	**structuur**	**structuur**	**structuur**	**zichtbare porien**	**dichtheid**	**wortels**	**opmerkingen**
		duidelijkheid	vorm		geschat	geschat					roest		type	grootte	graad		geschat (g/cm3)		
1Ap1	0-35	s	1	zwart/grijsbruin	10	20	50	2	5	693		v	ab	1	s	2	1.3	wortels	heterogeen,moerige resten, kalk van bemesting, rulle grond, kleibrokken
1C1g	35-60	g	1	zwart/grijsbruin	0.5	18	50	1	5	212	h	v	sb	2	s	1	1.5	g	wat verwerkt, stugge brokken, kleine structuurelementen, <1 cm, scherpblokking, roest
1Cg2	60-100	g	1	bruingrijs		10	35	1	5	212	h	v	sp	0	0	3	1.4	g	
1Cg3	100-120		1	bruingrijs		7	30	3	5	212	h	v	sp	0	0	3	1.4	g	

Beschrijving aflopend bodemprofiel met humeuse bovengrond (restveen)., kalkloos tot 100 cm
enkele foto's van bodemprofiel.
Het onderste deel van de bouwvoor en het begin van de ondergrond is wat verdicht.
Op 40 m afstand een boring gedaan (wpt293: (:95012/447657) de 1Cg1 is daar dikker tot 70 cm en veel stugger (slechter structuur, scherpblokkig, fossiele wortelresten en iets zwaarder) :
gevraagd om extra ringen van te nemen. De lysimeter zit zo'n 80 meter van beide plekken vandaan. Evt zal een later boring meer uitsluitesel geven over wat er echt in de lysimeter zit.

Profielkuil	datum	9-2-2011		[redacted]															
Profielbeschrijving							Landgebruik:	kascomplex											
standaardpunter	M4p235c	VIo			bewortelbare diepte 100cm	50		Chrysanten											
vlakcode	pMn85C	VIo	GHG	70	GLG	140													
horizont	**horizont-diepte**	**grens**	**grens**	**kleur**	**humus**	**lutum**	**silt**	**kalk**	**rijping**	**geologische code**	**vlekken**	**vochtigheids-toestand**	**structuur**	**structuur**	**structuur**	**zichtbare porien**	**dichtheid**	**wortels**	**opmerkingen**
		duidelijkheid	vorm		geschat	geschat					roest		type	grootte	graad		geschat (g/cm3)		
1Ap1	0-38	s	1	zwart	12	23	50	2	5	693		v	ab	1	s	3	1.3	v	heterogeen, rulle grond, kleibrokken
1C1g	38-50	s	1	grijsbruin		20	50	1	5	212	h	d	sb	2	s	2	1.5	g	wat verwerkt, stugge brokken, kleine structuurelementen, <1 cm, scherpblokking, roest
1Cg2	50-75	s	1	grijs	3	23	50	1	5	212	h	d	sb	3	s	1	1.6	g	erg verdicht, anaeroob, org stof resten
1Cg3	75-120		1	bruingrijs		10	35	3	5	212	h	v	sg	2	0	2	1.4	g	gelaagd, grijs, roestvlekken

De bovenstaande profielbeschrijving is op 5 m van de lysimeterkuil genomen (aan de westkant)
Aad de Winkel van PPO heft foto's gemaakt van de profielbeschrijving.
Draindiepte van retourdrain watersysteem kas op 80 cm, daaronder (>100cm diep) bevindt zich nog een drainsysteem voor ontwatering (niet gezien).
De laag 50-75 cm is in de helft van de lysimeterkuil (westkant) sterk verdicht, massief, geen wortels en blauwgrijs gekleurd (stinkt). De oostkant is vrij egaal bruin, goed poreus en wat beworteld.

Toekenning bodemfysische monsters uit Priapus (Henk Vroon) (horizont-MonsterId)

Ap – 1620; C1 – 8896; 1Cg2 – 130; 1Cg3 – 1661

Profielopbouw 1AB, Bleiswijk. Foto's: Willy de Groot (20-10-2010).

Voor bedrijf 1AB zijn ook de granulaire samenstelling (op minerale basis), het totale stikstofgehalte (N_t) en het totale koolstofgehalte (C_t) bepaald voor bovenste drie bodem horizonten.

Laag	< 2 µm	< 16 µm	< 50 µm	> 50 µm	N_t	C_t
(cm-mv)	[%]	[%]	[%]	[%]	[g/kg]	[g/kg]
10-20	13.2	20.3	33.1	66.9	2.3	47
47-57	13.3	21.2	34.1	65.9	1.4	15
70-80	7.3	12.5	22.4	77.6	0.7	6
40-50[1]	17.0	26.8	42.2	57.8	1.5	17

[1]: achter in de kas

2BN

Opname op 04-03-2011

LAAG_NR	HOR_CODE	HOR_DIEPB	HOR_DIEPO	DUID_GRNS	ORG	VEEN_C	LUTUM_S	KALK	RIJPING	VERKIT	ROEST	VOCHTIGH	S_TYPE	S_GRO_VER	S_GRA_PAK	RHO_D_S	WORT_AANT	GEO_FOR_C	OPMERKING	VORM_GRNS
1	1Ap	0	20	d	15	DK	9					d	ab	2	m	1.2	g	692	bezand, hout resten van compost	1
2	1Cw	20	45	s	15	DK	15					v	ab	2	m	1.4	g	110	dbr, wat zand	1
3	2Cg1	45	60	g	1		23	1	5		b	v	sb	2	z	1.5	g	212	grbr	1
4	2Cg2	60	110	s			16	3	5		m	v	ab	2	z	1.5	g	212	brgr, schelpen	1
5	2Cr	110	120		3		10	3	5		o	n	gr			1.3	g	212	grijs, schelpen	1

Bodemprofielopbouw 2BN: 0-120 cm. Foto: Willy de Groot (4-3-2011).

3BV

LAAG_NR	HOR_CODE	HOR_DIEPB	HOR_DIEPO	DUID_GRNS	ORG	LUTUM_S	LEEM_S	M50_S	VOCHTIGH	RHO_D_S	WORT_AANT	GEO_FOR_	OPMERKING	VORM_GRNS	PFB_ID	PROJ_C	BOOR_METH
1	1Ap1	0	15	d	10		25	140	v	1.4	v	692	potgrondresten, geen ge	1	12	5233507	EDM
2	1Ap2	15	30	d	3.5		25	140	v	1.5	w	692	stug, kleibrokjes	1	12	5233507	EDM
3	1Aa	30	60	d	3		25	140	v	1.5	w	693	kleibrokjes	1	12	5233507	EDM
4	1Cg1	60	80	d			10	160	v	1.5		411		1	12	5233507	EDM
5	1Cg2	80	100	d		20	60	120	n	1.4		331	scherpe overgang, leem	1	12	5233507	EDM
6	2Cg1	100	120	d			8	220	n	1.4		331	brgr, grof	1	12	5233507	EDM
7	2Cr	120	150		0.5		4	220	v	1.5		331	grof, niet opdrachtig		12	5233507	EDM

Profielopbouw 3BV: 0-50 cm (vlnr; links), 50-90 cm (vlnr; midden), 90-120 cm –mv (vlnr; rechts) . Foto's: Simone Verzandvoort (23-2-2011).

4GE

LAAG_NR	HOR_CODE	HOR_DIEPB	HOR_DIEPO	DUID_GRNS	ORG	LEEM_S	M50_S	VOCHTIGH	RHO_D_S	WORT_AANT	GEO_FOR_C	OPMERKING	VORM_GRNS
1	1Ap1	0	30	d	4	20	140	v	1.4	v	692	potgrondresten,geen gewasresten	1
2	1Aa1	30	65	d	3.5	23	140	v	1.4	m	692		1
3	1Aa2	65	80	d	2	16	140	v	1.4		692		1
4	1Cg1	80	115	g		20	140	v	1.5		411	geel	2
5	1Cg2	115	125	g		20	140	v	1.5		411	mangaanvlekken	2
6	2Cg1	125	160	g		40	120	v	1.5		412	bruin	2
7	2Cg2	160	185	g		16	145	v	1.7		412	bruin	2
8	2Cg3	185	220	g		60	100	v	1.5		412	veel roestvlekken	

Profielopbouw 4GE: 0-120 cm (vlnr; links), 80-250 cm (vlnr; midden), 0-120 cm (2e boring) –mv (vlnr; rechts). Foto's: Simone Verzandvoort (23-2-2011).

5HV

Opname op 23-2-2011

LAAG_NR	HOR_CODE	HOR_DIEPB	HOR_DIEPO	DUID_GRNS	ORG	LEEM_S	M50_S	ROEST	VOCHTIGH	RHO_D_S	WORT_AANT	GEO_FOR_C	OPMERKING	VORM_GRNS
1	1Ap	0	30	d	5	14	140		v	1.3	v	692	potgrondresten en houtsnippers, geen gewasresten	1
2	1Aa	30	40	g	3.5	14	140		v	1.5	m	692	houtsnippper als zwarte vlekken herkenbaar	2
3	1Aa/C	40	100	g	2.5	14	140		v	1.5	g	693	heterogeen, opgebracht?	2
4	1Ab	100	120	d	3	14	140		n	1.5		692	heterogeen	2
5	1Cg	120	150			8	200	w	n	1.6		411	geel, scherp zand	1

Bodemprofielopbouw 5HV: 0-120 cm (vlnr). Foto: Simone Verzandvoort (23-2-2011).

6JM

LAAG_NR	HOR_CODE	HOR_DIEPB	HOR_DIEPO	DUID_GRNS	ORG	LEEM_S	M50_S	VOCHTIGH	RHO_D_S	WORT_AANT	GEO_FOR_C	OPMERKING	VORM_GRNS
1	1Ap	0	20	s	3	12	145	v	1.3	v	692	wat potgrondresten, geen gewasresten	1
2	1Aa	20	40	d	3	12	145	v	1.4	m	693	heterogeen	1
3	1Aa/1C1	40	60	g	2.5	16	140	v	1.4		693	heterogeen	1
4	1Aa/1Cg1	60	90	s	1	16	140	v	1.4		411	verhouding A/C: 1/1	1
5	1BCg	90	120	g	0.5	12	140	v	1.5		411	bruin, koffielagen,niet verstoord	1
6	1Cg1	120	140	g		33	120	n	1.6		412		
7	1Cg2	140	200	s		20	140	v	1.5		412		
8	1Cr	200	210			20	140	v	1.5		412		

Profielopbouw 6JM: 0-90 cm (vlnr; links), 90-120 cm (vlnr; midden), 120-190 cm –mv (vlnr; rechts). Foto's: Simone Verzandvoort (23-2-2011).

7KG

Datum bodemprofielopname: 6 mei 2011

[redacted]

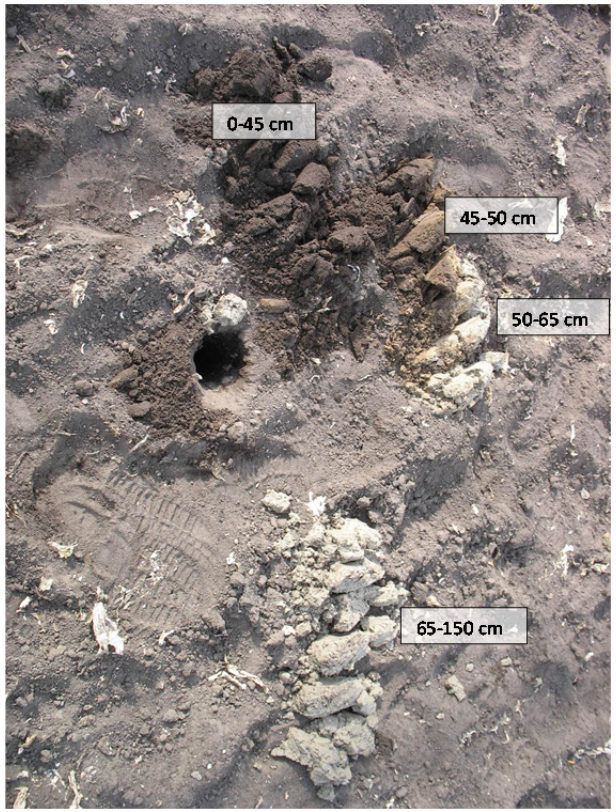
Profielkuil

Profielbeschrijving	datum	6-5-2011		[redacted]																
standaardpuntencode								Landgebruik	kascomplex, voorheen peenteelt											
vlakcode	5k4311	IVu			bewortelbare diepte 65cm	50			sla											
	pZn50A	IVu	GHG	70	GLG	110	Meting GW-stand	90												
horizont	**horizont-diepte**	**grens**	**grens**	**kleur**	**humus**	**lutum**	**M50**	**silt**	**kalk**	**rijping**	**geologische code**	**vlekken**	**vochtigheids-toestand**	**structuur**	**structuur**	**structuur**	**zichtbare porien**	**dichtheid**	**wortels**	**opmerkingen**
		duidelijkheid	vorm		geschat	geschat						roest		type	grootte	graad		geschat (g/cm3)		
1Ap1	0-20	d	1	donkergrijs	3.5	4	200	20	2		692		v	gr	2	m	3	1.3	v	regelmatig gefreesd, kruimelig
1Ap2	20-45	s	2	donkergrijs	3.5	3	200	20	2		693		v	gr	2	m	3	1.4	m	heterogeen, wat veen- (of potgrond-) brokjes)
1Ce	45-50	s	2	vaalgeel	1	5	180	20	3		211	o	v	ekg		h	2	1.4	g	overgangshorizont
1Cg1	50-65	d	1				180	12	3		211	w	v	ekg		h		1.5	g	weinig roest, zandplaat, enige schelpen
1Cer1	65-100	g	1				200	12	3		211	o	v	ekg		h		1.5	g	lichtgrijs met schelpen
1Cer2	100-150						200	12	3		211		n	ekg		h		1.5	g	donkergrijs met schelpen

De bovenstaande profielbeschrijving is op 3 m van de lysimeterkuil genomen (aan de noordkant)
Draindiepte op 75 cm, afstand 3,2m
Lysimeter in homogene ruimte aangelegd
Enige verdichting op 65 cm (vooral door schelpen lastiger boren)
kleurverschil met ondergrond te gering voor eerdgrond

2e profielbeschrijving op 40 m zuidelijk van de lysimeter om een indruk van de heterogeniteit te verkrijgen.
Wat opvalt is de wat zwaardere laag net onder de bouwvoor. Verder is er weinig verschil.
Dit kasgedeelte was in het verleden in gebruik voor peenteelt.

Profielbeschrijving	datum	6-5-2011		[redacted]																
standaardpuntencode								Landgebruik	kascomplex											
vlakcode	5k4311	IVu			bewortelbare diepte 65cm	50			sla											
	pZn50A	IVu	GHG	70	GLG	110														
horizont	**horizont-diepte**	**grens**	**grens**	**kleur**	**humus**	**lutum**	**M50**	**silt**	**kalk**	**rijping**	**geologische code**	**vlekken**	**vochtigheids-toestand**	**structuur**	**structuur**	**structuur**	**zichtbare porien**	**dichtheid**	**wortels**	**opmerkingen**
		duidelijkheid	vorm		geschat	geschat						roest		type	grootte	graad		geschat (g/cm3)		
1Ap1	0-20	d	1	donkergrijs	4	6	180	25	2		692									regelmatig gefreesd, kruimelig
1Ap2	20-45	s	2	donkergrijs	4	8	180	25	2		693									heterogeen, wat veen- (of potgrond-) brokjes)
1Ce	45-50	s	2	vaalgeel	1	16		35	3	5	211									overgangshorizont
1Cg1	50-65	d	1				180	12	3		211									weinig roest, zandplaat, enige schelpen
1Cer1	65-100	g	1				200	12	3		211									lichtgrijs met schelpen
1Cer2	100-150						200	12	3		211									donkergrijs met schelpen



Bodemprofielopbouw 7KG: 0-150 cm (links), en overgang A naar C horizont (rechts). Foto: Willy de Groot (6-5-2011).

8KT

Opname op 4-3-2011

LAAG_NR	HOR_CODE	HOR_DIEPB	HOR_DIEPO	DUID_GRNS	ORG	LUTUM_S	KALK	RIJPING	VERKIT	ROEST	VOCHTIGH	S_TYPE	S_GRO_VER	S_GRA_PAK	RHO_D_S	WORT_AANT	GEO_FOR_C	OPMERKING	VORM_GRNS
1	1Ap	0	40	s	4	22	3	5			v	sb	2	z	1.3	w	693	org.stofbemesting = compost; heterogeen	1
2	1Cg1	40	60	g		22	3	5		b	v	ab	2	m	1.5	g	211	grbr	1
3	1Cg2	60	100	g		14	3	5		w	v	ab	2	m	1.4	g	211	grbr	1
4	1Cg3	100	120	g		18	3	5		m	v	ab	2	m	1.4	g	211	brgr	1
5	1Cg4	120	140	s		14	3	5		w	n	gr	2	z	1.4	g	211	brgr, schelpjes, bedding	1
6	1Cr	140	150		3	8	3	5		o	n	gr	1	z	1.3	g	211	gr	1

Bodemprofielopbouw 8KT: 0-150 cm. Foto: Willy de Groot (4-3-2011).

9VV

Profielkuil	datum	19-11-2010		[redacted]																
Profielbeschrijving							Landgebruik:			TG (tuinland onder glas)										
standaardpunten	4r423	VI			bewortelbare diepte	150														
vlakcode	bEZ30	VI	GHG	>150	GLG	>150	Gemiddelde GHG en GLG:				>150									
horizont	**horizontdiepte**	**grens**	**grens**	**kleur**	**humus**	**lutum**	**leem**	**silt**	**M50**	**kalk**	**rijping**	**geologische formatie**	**vlekken**	**vochtigheids-toestand**	**structuur**	**structuur**	**structuur**	**zichtbare porien**	**dichtheid**	**wortels**	**opmerkingen**
	cm	duidelijkheid	vorm		geschat	geschat							roest		type	grootte	graad		geschat (g/cm3)		
1Aap1	0-15	v		zwart/grijsbruin	8	6	30	35	180	1	5	693	0	d	ab	1	m	3	1.4	v	heterogeen,potgrond bijmenging
1Aap2	15-30	v		donkerbruin	5	6	30	35	180	1	5	331	0	d	ab	1	m	3	1.5	m	homogeen, kleine afgeronde elementen
1Aa	30-100	s		donkerbruin	3	6	30	35	180	1	5	331	0	d	ab	1	m	3	1.5	m	homogeen, kleine afgeronde elementen
1Cg2	100-150			lichtgeel		8	40	45	165	1	5	331	0	v	gr				1.4	m	
Beschrijving	beworteling zichtbaar tot 130 cm, gedraineerd op 80cm																			
	grofheid zand moeilijk te schatten, volgens bodemkaart 1: 50 000 grof zand, profielbeschrijving vlakbij:pfb_id 305 (zie kaart)																			

Toekenning bodemfysische monsters uit Priapus (Henk Vroon) (horizont-MonsterId)

1Aap1 – 1675; 1Aap2 – 1675; 1Cg1 – 8905; 1Cg2 – 27

Bodemprofiel (0-50 cm -mv) en monstername voor bodemfysische karakterisering bij 9VV. Foto's: Willy de Groot en Falentijn Assinck (19-11-2010).

Profielopbouw 9VV. Foto's: Willy de Groot (19-11-2010).

Voor bedrijf 9VV zijn tevens de granulaire samenstelling (op minerale basis), het totale stikstofgehalte (N_t) en het totale koolstofgehalte (C_t) bepaald voor bovenste drie bodem horizonten.

Laag	**< 2 µm**	**< 16 µm**	**< 50 µm**	**> 50 µm**	**N_t**	**C_t**
(cm-mv)	**[%]**	**[%]**	**[%]**	**[%]**	**[g/kg]**	**[g/kg]**
2-12	7.4	15.0	26.2	73.8	2.3	39
15-25	7.1	14.2	26.1	73.9	2.1	33
30-40	6.4	12.9	25.1	74.9	1.2	21
52-62	6.4	13.2	25.2	74.8	0.9	18

Bijlage 3 Bodemfysische eigenschappen locatie WUR-Glastuinbouw, Bleiswijk

Profielkuil	datum	8-9-2010		x	y														
Profielbeschrijving				96232	449574		Landgebruik:	kascomplex											
standaardpuntencode	M4p315a	VI			bewortelbare diepte 100cm	100		vanwege steenwolcultuur geen wortels gevonden											
vlakcode	pMn85A	VI	GHG	70	GLG	130	Gemiddelde GHG en GLG:		100										
horizont	**horizont-diepte**	**grens**	**grens**	**kleur**	**humus**	**lutum**	**silt**	**kalk**	**geologische formatie**	**rijping**	**vlekken**	**vochtigheids-toestand**	**structuur**	**structuur**	**structuur**	**zichtbare porien**	**dichtheid**	**wortels**	**opmerkingen**
		duidelijk-heid	vorm		geschat	geschat					roest		type	grootte	graad		geschat (g/cm3)		
1Ap1	0-15cm	g	1	zwart/grijsbruin	8	28	60	3	693	5		d	ab	1	s	2	1.4	g	heterogeen,moerige resten
1Ap2	15-32cm	s	1	zwart/grijsbruin	8	28	60	3	212	5	h	d	sb	2	s	1	1.6	g	scherpblokkig
1Cg1	32-50	g	1	bruingrijs		18	50	3	212	5	h	v	sp	0	0	3	1.5	g	schelpresten
1Cg2	50-80	g	1	bruingrijs		16	50	3	212	5	h	v	sp	0	0	3	1.4	g	schelpresten
1Cg3	80-120	g	1	bruingrijs		12	45	3	212	4	h	v	sp	0	0	0	1.3	g	schelpen
1CG	120-150	g	1	bruingrijs		10	35	3	212	3	m	n	sp	0	0	0	1.3	g	schelpen
Beschrijving:	aflopend bodemprofiel met humeuse bovengrond (restveen)., kalkrijk																		
twee foto's van bodemprofiel en vier foto's van de structuur.																			
Het onderste deel van de bouwvoor en het begin van de ondergrond is wat verdicht.																			

Toekenning bodemfysische monsters uit Priapus (Henk Vroon) (horizont-MonsterId)
1Ap1 – 8909; 1Ap2 – 1259; 1Cg1 – 8896; 1Cg2 – 8895; 1Cg3 – 8895; 1CG – 1661

Voor WUR-Glastuinbouw zijn tevens de granulaire samenstelling (op minerale basis), het totale stikstofgehalte (N_t) en het totale koolstofgehalte (C_t) bepaald voor bovenste vier bodem horizonten.

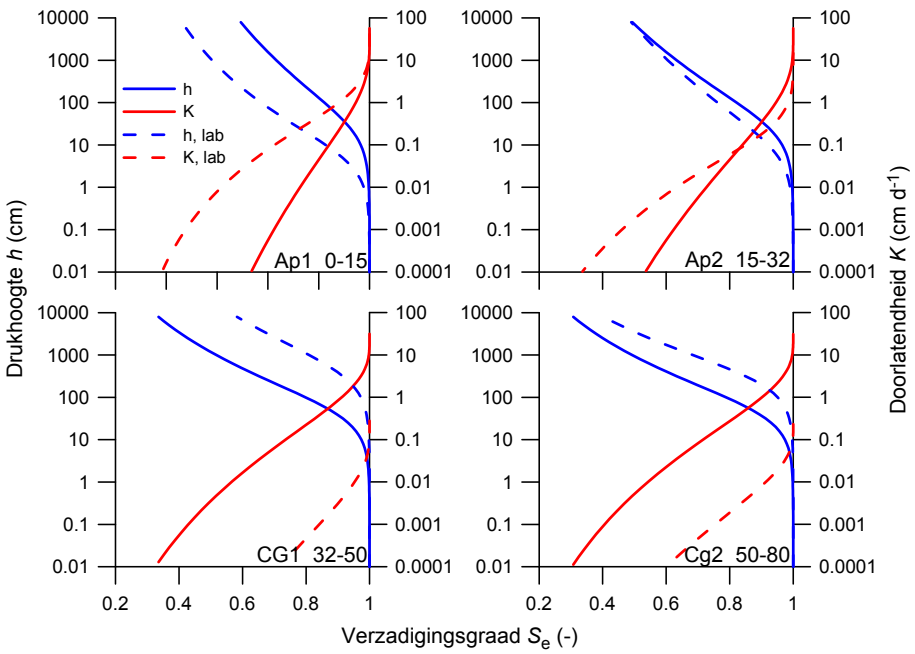
Laag	< 2 µm	< 16 µm	< 50 µm	> 50 µm	Nt	C
(cm-mv)	[%]	[%]	[%]	[%]	[g/kg]	[g/kg]
2-12	23.4	36.7	53.7	46.3	2.3	30
15-25	31.6	47.8	64.3	35.7	2.3	27
33-43	20.0	32.7	61.3	38.7	0.8	8
55-65	17.6	28.0	51.9	48.1	0.7	8

Tabel B3-1

Bodemfysische parameters uit vergelijkingen [9] en [10] voor locatie WUR-Glastuinbouw, Bleiswijk.

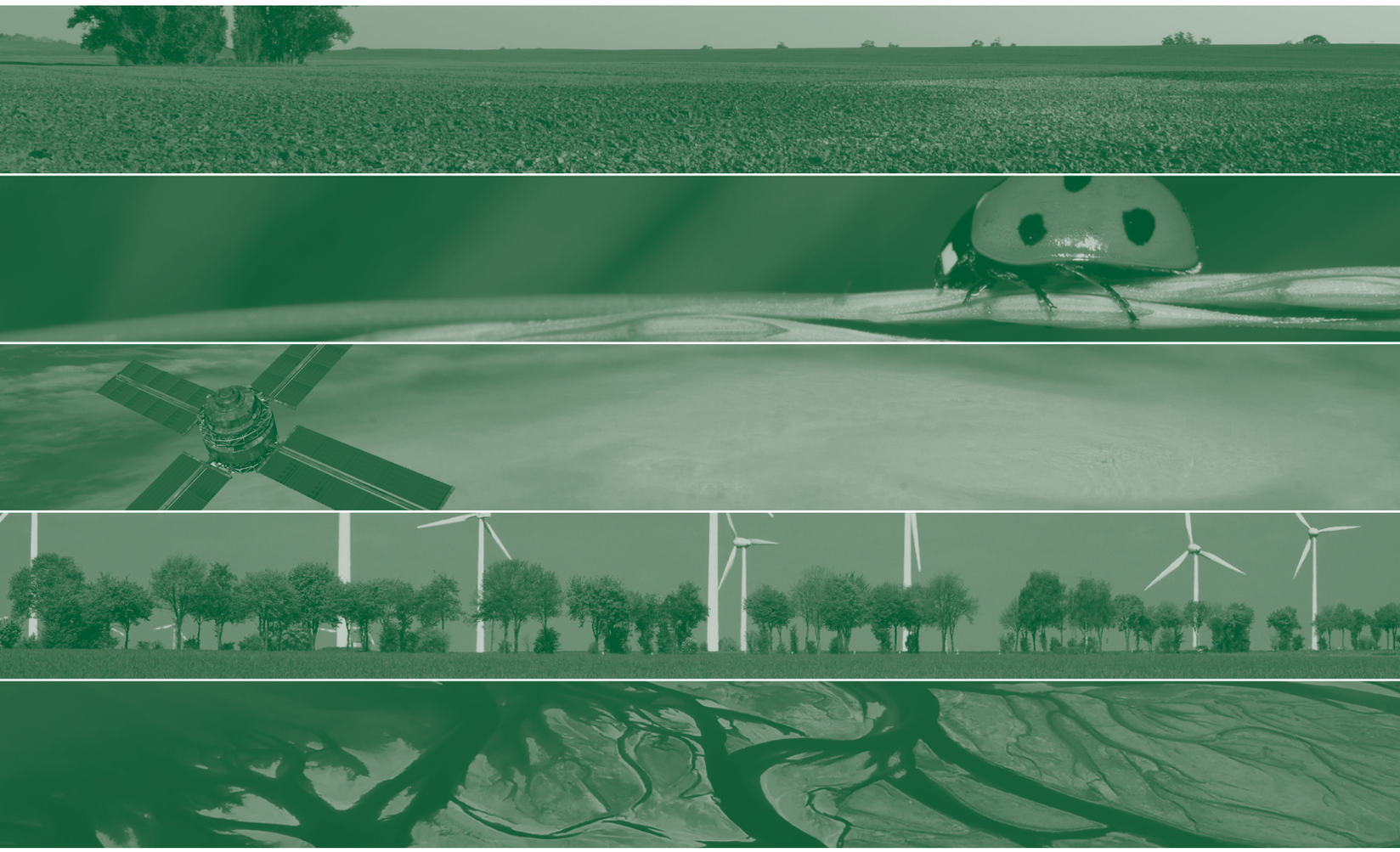
Methode	Laag	Diepte[1]	θ_r[2]	θ_s[2]	α[3]	n[4]	λ[4]	K_s[5]
Vertaalfunctie	1Ap1	0-15	0.01	0.51	0.0432	1.121	-3.679	93.82
	1Ap2	15-32	0.01	0.51	0.0432	1.121	-3.679	93.82
	1Cg1	32-50	0.01	0.42	0.0223	1.211	-3.194	35.93
	1Cg2	50-80	0.01	0.41	0.0216	1.229	-2.860	34.39
	1Cg3	80-120	0.00	0.40	0.0199	1.283	-2.134	30.28
	1CG	120-150	0.00	0.39	0.0190	1.324	-1.741	27.81
Laboratorium	1Ap1	0-15	0	0.56	0.2151	1.180	-7.542	55.94
	1Ap2	15-32	0	0.505	0.1372	1.102	-14.359	31.99
	1Cg1	32-50	0	0.48	0.0026	1.177	0.0001	0.32
	1Cg2	50-80	0	0.51	0.0035	1.272	0.0001	0.24
	1Cg3[a]	80-120	---	---	---	---	---	---
	1CG[a]	120-150	---	---	---	---	---	---

[a]: de twee onderste horizonten zijn niet in het laboratorium doorgemeten.



Figuur B3-1

Grafische vergelijking van de waterretentiekarakteristiek (linker as; blauwe lijnen) en de doorlatendheidskarakteristiek (rechter as; rode lijnen) bepaald via de vertaalfunctie (doorgetrokken lijnen) en bepaald in het laboratorium (onderbroken lijnen)) voor bovenste vier bodemlagen van de locatie Wageningen UR-Glastuinbouw, Bleiswijk.



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

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

Meer informatie: www.wageningenUR.nl/alterra