

Verdampingsmodel Phalaenopsis



© 2010

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van FytoFocus.

FytoFocus is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het programma Kas als Energiebron gefinancierd door het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van LNV .



Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

Het onderzoek is mede mogelijk gemaakt door de inzet en beschikbaarheid van faciliteiten van de bedrijven Letsgrow.com, v d Hoorn orchideeën, JamuFlor en Floricultura:



Auteur: Rob Baas
E: info@FytoFocus.nl
www.FytoFocus.nl
Maart 2010

Inhoudsopgave

pagina

1	SAMENVATTING	7
2	INLEIDING EN DOEL	8
3	WERKWIJZE	9
3.1	Metingen opkweek proefkas Floricultura	9
3.2	Metingen opkweek KaszonderGas	9
3.3	Metingen opkweek referentiebedrijf.....	10
3.4	Metingen afkweek KaszonderGas	10
3.5	Dataverwerking	11
4	METINGEN WATERHUISHOUDING PHALAEOPSIS	12
4.1	etmaalgemiddelden.....	12
4.2	Verdamping binnen etmaal	14
5	VERDAMPINGSMODEL.....	16
5.1	Verdampingsmodellen glastuinbouw	16
5.2	Phalaenopsis.....	18
5.2.1	Parameterisering.....	19
5.3	Vergelijk schatting en realisatie potverdamping	20
5.4	Verdampingsberekeningen	23
5.5	Implementatie	24
6	DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	26
7	GERAADPLEEGDE LITERATUUR.....	27
	BIJLAGE 1. DATA OPKWEEK FLORICULTURA	28
	BIJLAGE 2. DATA OPKWEEK 1 KASONDERGAS	29
	BIJLAGE 3. DATA OPKWEEK 1 REFERENTIEBEDRIJF	31
	BIJLAGE 4. DATA KOELING/AFKWEEK KASZONDERGAS	32

1 Samenvatting

De groei van Phalaenopsis wordt sterk beïnvloed door de beschikbaarheid van water- en voeding in het barkmedium. De watergift wordt in de praktijk voornamelijk afgestemd op visuele beoordeling van de bark en de wortels. Dit project richtte zich op schatting van de potverdamping van Phalaenopsis in 12 cm potten, om hiermee een hulpmiddel voor het beslismoment van de watergift te ontwikkelen. Hiertoe zijn met behulp van weegunits verkregen data van 3 bedrijven gebruikt om de potverdamping (evapotranspiratie) te bepalen, en zijn klimaatgegevens verzameld.

De verdamping in de opkweek varieerde bij de bedrijven tussen gemiddeld 0.6 en 1.1 mm (l/m^2) per etmaal over de meetperiode. Het vochtdeficiet varieerde tussen de 5.6 en 11.4 g/m^3 , en de PARsom tussen 3 en 4.6 mol/m^2 per etmaal. Een aanzienlijk verschil werd gemeten in de giften: deze varieerde van gemiddeld 8 l/m^2 tot 17 l/m^2 per beurt in de opkweek.

Met de gegevens en met behulp van bestaande verdampingsmodellen is een verdampingsmodel voor Phalaenopsis ontwikkeld dat de gecumuleerde potverdamping (verdampingssom) schat tussen opeenvolgende watergiften. Invoervariabelen zijn vochtdeficiet, PAR straling en watergift. De berekende vochtvoorraad in het substraat bepaalt ook de verdamping, waardoor de vermindering van de verdamping in de tijd berekend wordt. Met het programma kon de verdamping redelijk goed geschat worden voor de verschillende teeltsituaties. De berekende momentane verdamping vertoonde een vergelijkbaar patroon als de waargenomen momentane verdamping.

Met het model is doorgerekend wat het effect van PARsom en vochtdeficiet is op de tijdsduur voordat een bepaalde verdampingssom is bereikt.

Om ventilatie en energieverlies te beperken is minimalisering van het aantal watergiften de beste optie. Dit kan – indien dit teeltechnisch verantwoord is - door de verdamping te beperken door het aanhouden van een laag vochtdeficiet en/of lage PARsom. Andere mogelijkheden zijn het tegengaan van de substraatverdamping en/of het vergroten van de vochtbuffer in het substraat. Een reductie van de verdamping van 20% kan een besparing van ca. 4 m^3/m^2 per jaar opleveren bij Phalaenopsis. Afhankelijk van de klimaatcondities op het moment van watergeven kan deze besparing echter hoger of lager uitpakken.

Het verdampingsmodel is beschikbaar gemaakt voor gebruikers binnen LetsGrow als beslissingsondersteunend hulpmiddel voor de watergift in de opkweek van Phalaenopsis.

2 Inleiding en doel

De beschikbaarheid van vocht en nutriënten is van groot belang voor de groei van Phalaenopsis tijdens de opkweekperiode. Een gebrek aan vocht en nutriënten kan optreden bij Phalaenopsis omdat het gebruikte barksubstraat een geringe buffercapaciteit en naleverend vermogen bezit, en anderzijds de frequentie van watergeven laag kan zijn. Een hogere watergeeffrequentie of substraat met hoger vochtvasthoudend vermogen wordt vaak als risicovol ervaren vanwege het risico op potworm en 'wortelrot' bij een natter substraat en/of 'Pseudomonas' bij hoge luchtvochtigheid.

Momenteel gebeurt de watergift vooral op basis van visuele beoordeling (afwezigheid van condens in transparante potten; grijskleuring wortels) en op basis van teeltveraring en teeltvisie. In de praktijk kunnen de verschillen in watergift dan groot zijn: in een inventarisatie bij een 7-tal bedrijven varieerde het aantal watergiften in de periode van week 16-26 van 12 tot 33 beurten; hierbij varieerde de totale gift tussen 11.2 en 15.2 mm/week (Baas, niet-gepubliceerde resultaten).

Mogelijkheden om de watergift meer op basis van gewasbehoefte uit te voeren zijn beperkt in Phalaenopsis. Vochtsensoren zijn niet erg betrouwbaar in het grove barksubstraat en weegsystemen worden niet of nauwelijks gebruikt vanwege de verplaatsing van de rolcontainers. Een schatting van de verdamping op basis van omgevingsfactoren kan daarom een goede mogelijkheid zijn de watergift meer op basis van gerealiseerd verbruik/behoefte af te stemmen.

Doelstellingen van het in dit verslag beschreven project waren:

- een verdampingsmodel te ontwikkelen en te toetsen ter ondersteuning van het beslismoment van watergeven op basis van verdampings- en klimaatgegevens verzameld onder verschillende condities bij Phalaenopsis.
- het verdampingsmodel te implementeren in LetsGrow waardoor on-line de geschatte verdamping en dagelijkse evapotranspiratiesom zichtbaar wordt.

3 Werkwijze

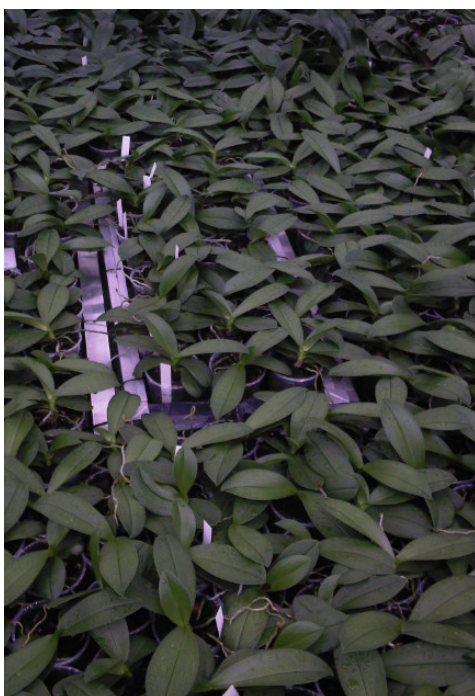
3.1 Metingen opkweek proefkas Floricultura



In het PT project '*Invloed stikstofvoorziening tijdens de opkweek op Phalaenopsis*' zijn in een proefkas van Floricultura met een weegunit met een oppervlak van 0.4 m² metingen uitgevoerd per 10 minuten in de periode van week 13 tot week 22 2007. Het betrof hier wegingen van 24 planten vanaf 3 weken na oppotten (Afb. 1). Watergift, PAR, RV en kasttemperatuur werden geregistreerd gedurende de meetperiode.

Afb. 1. Meetopstelling in proefkas voorjaar 2007.

3.2 Metingen opkweek KaszonderGas



In het 'PT/LNV project '*Invloed luchtbeweging op de verdamping en groei van Phalaenopsis in semi-gesloten kas*' zijn metingen per 5 minuten met weegunits uitgevoerd in de periode van week 16 tot week 41 2008 in de KaszonderGas (Afb.2). De plantdichtheid op de containers bedroeg tijdens de metingen gedurende de gehele opkweekperiode 83 planten per m². Per weegunit waren 27 planten aanwezig. Data van gerealiseerde PAR, RV en watergift tijdens deze periode in de opkweek waren beschikbaar via de Economic klimaatcomputer.

Van week 3 tot week 25 2009 is een mobiele weegunit in de opkweekafdeling geïnstalleerd waarmee met een meetinterval van 15 minuten 27 planten gewogen werden.

Afb.2. Weegopstelling op rolcontainer in KaszonderGas voorjaar 2008.

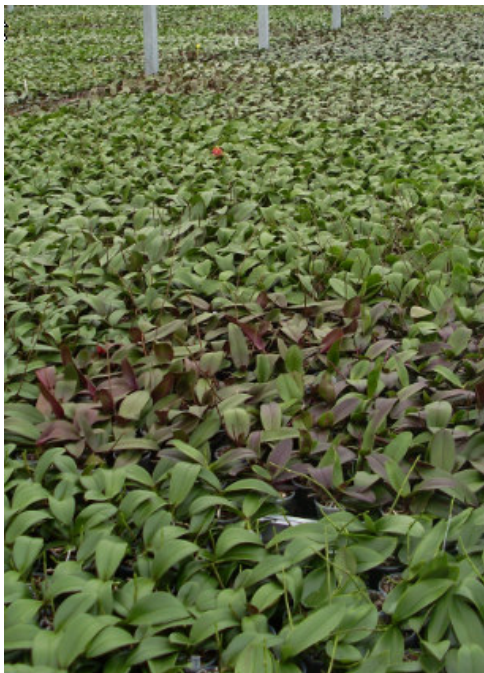
3.3 Metingen opkweek referentiebedrijf



Het referentiebedrijf Jamuflor betrof een bedrijf met rolcontainers met gaasbodem met zowel onder- als boven buisverwarming. Van week 5 tot 21 2009 werden met een weegunit continu 28 planten gewogen met een meetinterval van 10 min (Afb. 3). In de opkweekafdeling werden onder meer PAR, RV en watrigift geregistreerd.

Afb. 3. Weegopstelling op rolcontainer in referentiebedrijf voorjaar 2008.

3.4 Metingen afkweek KaszonderGas



In aansluiting op de metingen in de opkweek van het PT/LNV project: *Invloed luchtbeweging op de verdamping en groei van Phalaenopsis in de semi-gesloten kas KaszonderGas* zijn metingen aan gewasverdamping en klimaat in de gecombineerde koel- en afkweekafdeling uitgevoerd in de periode week 46 2008 tot week 10 2009. De plantdichtheid in deze afdeling bedroeg 55 planten/m². Gewasverdamping werd berekend uit weegdata van 20 planten op de weegunit met een meetinterval van 10 min (Afb. 4). De metingen werden uitgevoerd op een container welke gedurende de meetperiode iedere 2 weken wisselde van baan.

Afb. 4. Koel-/afkweekafdeling KaszonderGas

3.5 Dataverwerking

De data van de geregistreerde potgewichten zoals bepaald met de weegunits zijn omgerekend naar minuutverdamping per pot, en naar verdamping per netto m^2 uitgaande van een plantdichtheid van respectievelijk 83 planten per m^2 (opweek) of 55 planten per m^2 (koeling/afweek). Uit de minuutverdamping zijn verdampingssommen per etmaal en verdampingssommen tussen opeenvolgende watergiften berekend.

De wateropname na een gift is berekend uit het verschil in gewicht vóór en 1 uur na een watergift.

4 Metingen waterhuishouding Phalaenopsis

4.1 etmaalgemiddelden

In Bijlage 1 tot 3 staan de resultaten van het gerealiseerde klimaat tijdens de meetperioden van de opkweek weergegeven, en in Bijlage 4 is dit het geval voor de gecombineerde koel-/afkweekperiode in de KaszonderGas. Opvallende zaken hierbij waren:

- De afname van de etmaalverdamping in opeenvolgende etmalen na de watergift. Dit was vooral duidelijk in de Floricultura opkweek, en in de KaszonderGas opkweek 2008 en de koeling/afkweek.
- de variatie in etmaalgemiddelden van kasttemperatuur, PARsom, VD en verdampingsommen in de KaszonderGas was groter dan bij het referentiebedrijf.
- het grillige verloop van het potgewicht in de KaszonderGas, waarbij het potgewicht gedurende perioden (b.v. vanaf dag 165 in 2008 en dag 83 in 2009) met meer dan 100 g/pot af kon nemen.
- Het veel lagere gemiddelde potgewicht in 2008 in vergelijking met 2009 in de KaszonderGas.
- Het schokkerig verloop van de metingen bij het referentiebedrijf.

	Plantleeftijd	Potgewicht	PARsom	RV	kasT	VD	Verdamping
Lokatie en meetperiode	Weken na oppotten	kg	mol/m².dag	%	C	g/m³	l/m².dag
Floricultura w13-w22 2007	3-12	0.24	4.0	57	27.4	11.4	0.9
KaszonderGas w 16-41 2008	1-26	0.23	4.3	75	29.9	7.5	1.0
KaszonderGas W3-w25 2009	3-25	0.34	4.6	80	29.2	5.6	1.1
Referentiebedrijf w5-w21 2009	10-26	0.27	3.0	69	28.9	8.9	0.6
Koeling/afkweek KaszonderGas w46 2008- w10 2009	30-46	0.34	7.2	78	20.5	4.0	0.6

Tabel 1. Gemiddeld gerealiseerde etmaalwaarden gedurende de opkweek en afkweek van Phalaenopsis. Verdamping berekend op basis van plantdichtheid in opkweek en koeling/afkweek van 83 resp. 55 potten/m².

In Tabel 1 zijn de gemiddelde waarden over de gehele meetperiode gegeven. Opvallend waren de verschillen in gerealiseerde RV / VD: in de proefkas Floricultura werden duidelijk lagere RV waarden gerealiseerd. Opvallend is de lagere etmaalverdamping van het referentiebedrijf. Dit ging gepaard met een lagere PARsom; daarentegen was het vochtdeficit juist hoger op het referentiebedrijf. De lagere verdamping in de koeling/afkweek KaszonderGas kan vooral verklaard worden door de lagere plantdichtheid; teruggerekend naar een plantdichtheid van de opkweek is de verdamping 0.9 l/m².dag, vergelijkbaar met die van de opkweek.

Gegevens van gift, opname en frequentie van watergift worden gegeven in Tabel 2. Hieruit blijken eveneens grote verschillen voor te komen: bij Floricultura en in de opkweek van het referentiebedrijf werden kleinere beurten gegeven dan in de KaszonderGas; dit resulteerde ook in een geringere wateropname per pot. Verder was het aantal dagen tussen de giften bij het referentiebedrijf 0.8-1.3

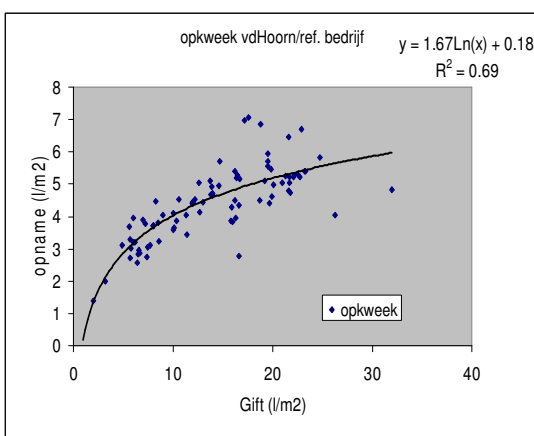
dag hoger dan bij de andere opkweeksituaties.

In de koeling/afkweek van de KaszonderGas werden aanzienlijk grotere beurten gegeven met een iets lagere frequentie. De opname per pot was hierbij het hoogste. De opname per m² was echter – door de lagere potdichtheid - niet hoger dan in de opkweek.

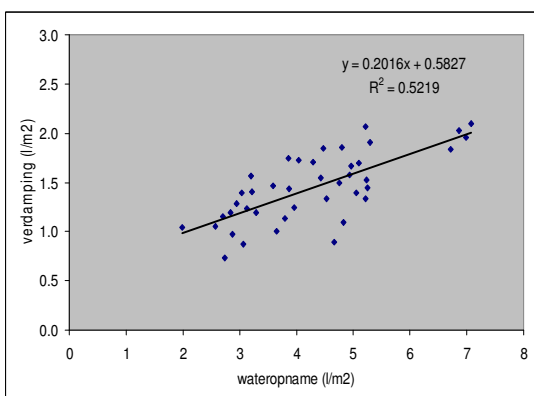
Lokatie en meetperiode	Gift	Opname		Dagen tussen giften
	l/m ² per gift	l/m ² per gift	g/pot per gift	
Floricultura w13-w22 2007	8.0	3.1	37	3.9
KaszonderGas w 16-41 2008	14.3	4.4	53	4.4
KaszonderGas W3-w25 2009	17.0	4.7	56	4.3
Referentiebedrijf w5-w21 2009	10.1	3.4	41	5.2
Koeling/afkweek KaszonderGas w46 2008- w10 2009	23.2	3.5	62	5.6

Tabel 2. Gemiddelde gift, wateropname en giftfrequentie gedurende opkweek en afkweek. N.b. Plantdichtheid in opkweek en koeling/afkweek was 83 resp. 55 potten/m².

Er blijkt een afvlakkend verband te zijn tussen de grootte van de watergift en de wateropname (Afb. 5). Verder blijkt er een verband te bestaan tussen de wateropname na de watergift en de verdamping op de dag van de wateropname: een grotere verdamping bij een grotere watergeefbeurt c.q. wateropname (Afb. 6). Dit hangt mogelijk samen met het vochtiger substraat bij de hogere wateropname, waardoor het potentieel verdampend oppervlak groter is.



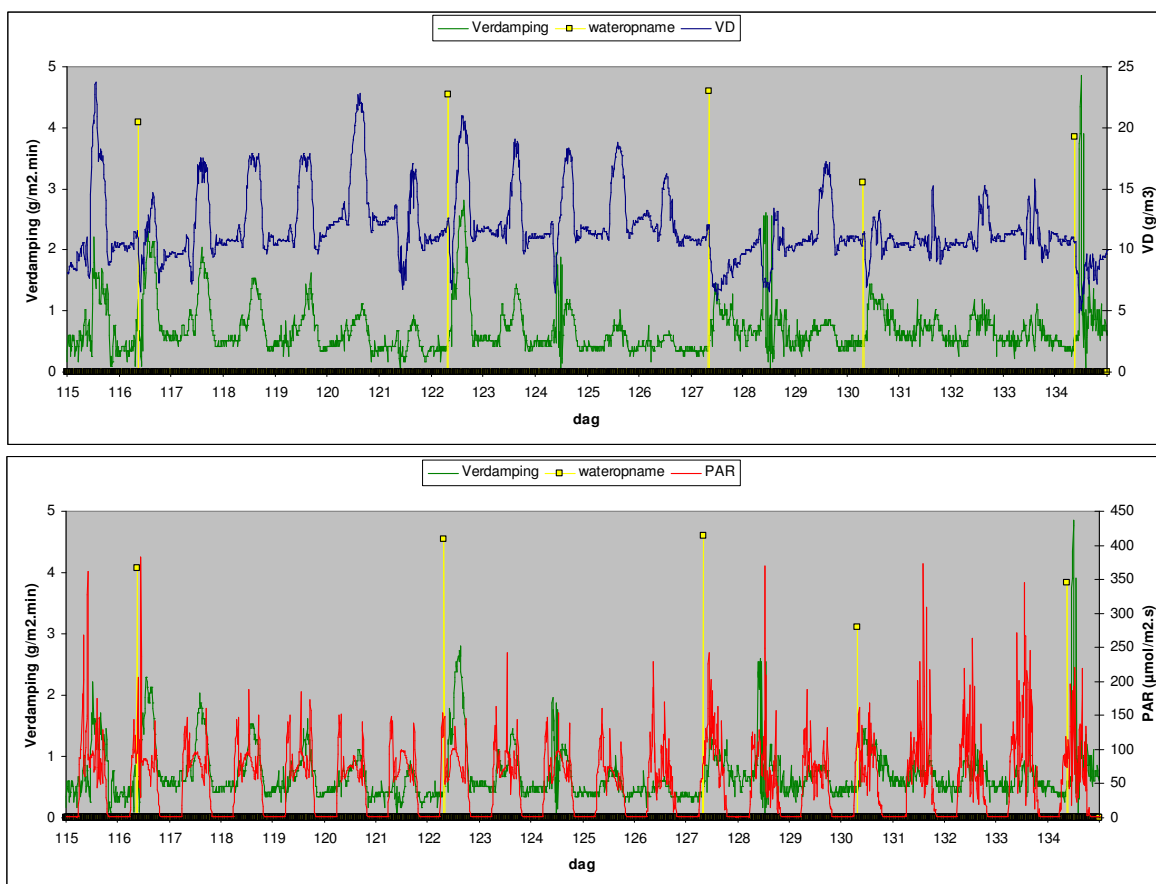
Afb. 5. Verband tussen gift en wateropname na gift tijdens de opkweek in KaszonderGas en op het referentiebedrijf.



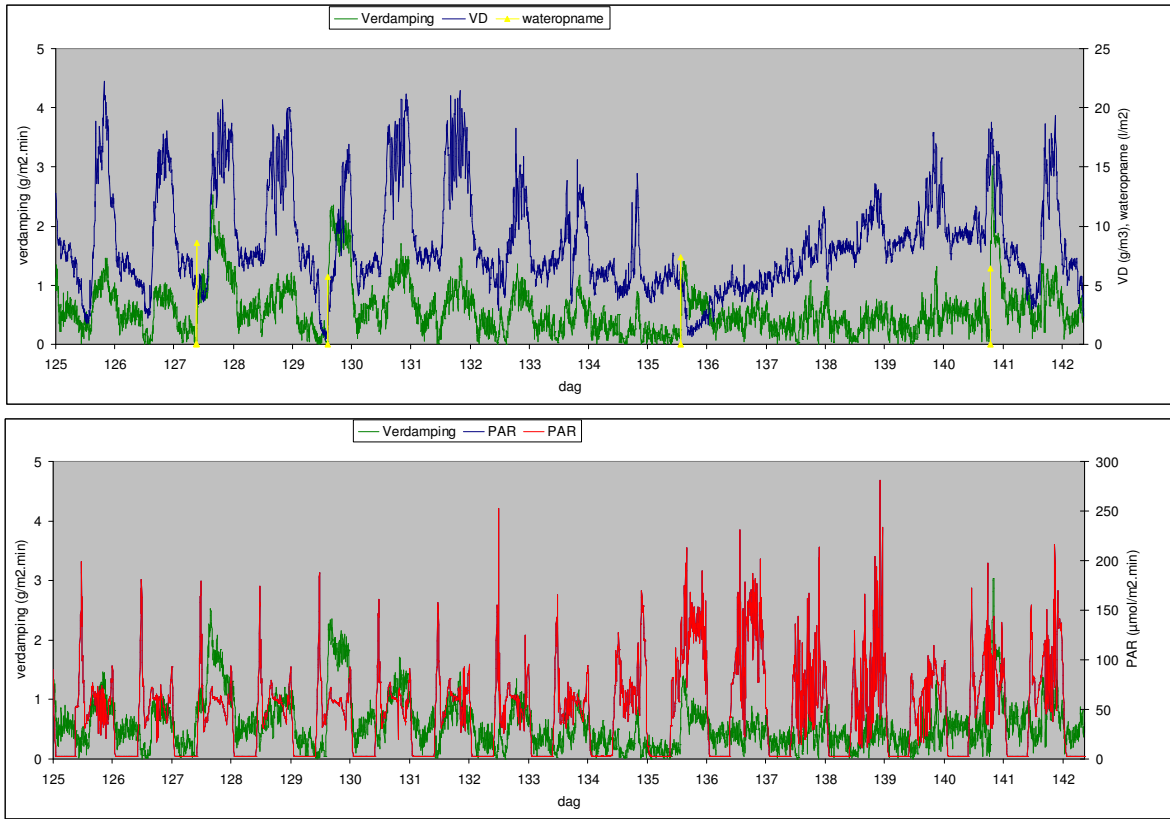
Afb. 6. Verband tussen verdamping op dag van gift en wateropname na gift.

4.2 Verdamping binnen etmaal

Uit het patroon van verdamping over meerdere etmalen in de KaszonderGas (Afb. 7) en in de referentiekas (Afb. 8) blijkt het verloop van de verdamping binnen een dag in veel gevallen vooral het patroon van het vochtdeficiet te volgen, en in mindere mate het patroon van de gerealiseerde PAR. Daarnaast is echter waarneembaar dat het afnemende patroon na een watergift niet overeenkomt met deze klimaatparameters, wat betekent dat naast RV en PAR nog een andere factor van belang is voor de potverdamping. In dit verslag wordt ervan uitgegaan dat dit het vochtgehalte van het substraat is.



Afb. 7. Verloop van verdamping van Phalaenopsis 7 tot 10 weken na oppotten (opkweek Floricultura) in relatie tot wateropname na watergift en vochtdeficiet (boven) en PAR (onder).



Afb. 8. Verloop van verdamping van Phalaenopsis 3 tot 6 weken na oppotten (opkweek KaszonderGas 2008) in relatie tot wateropname na watergift en vochtdeficiet (boven) en PAR (onder).

5 Verdampingsmodel

5.1 Verdampingsmodellen glastuinbouw

De verdamping uit een pot (evapotranspiratie) bestaat uit de processen grondevaporatie vanuit het substraat en transpiratie vanuit de plant.

Bij evaporatie spelen 2 fysische processen een rol:

1. Omzetting van water in waterdamp door toegevoerde energie. Deze energie kan afkomstige zijn van zon, assimilatielampen en van de buisverwarming
2. Transport van waterdamp. Dit wordt bepaald door windsnelheid en gradiënten in vochtgehalte in de lucht

Methoden om de evaporatie van open wateroppervlak of verzadigde gronden te schatten kunnen gebaseerd op 1) energie-balans modellen, op 2) massa-transport (aërodynamische) modellen, of 3) op een combinatie van beide. Er wordt over het algemeen van uitgegaan dat zowel de hoeveelheid energie/instraling als het massa-transport van waterdamp vanaf het verdampende oppervlak beperkend kunnen zijn. Penman (1948) heeft op basis van de energiebalans de evaporatie als volgt geformuleerd:

$$E = \frac{\Delta(R_n - G) + \frac{\rho c}{r_a} VD}{\lambda(\Delta + \gamma)} \quad (1)$$

Waarin:

E = Evaporatie (mm/dag)

Δ = richtingscoëfficiënt van verzadigde dampdruk bij luchttemperatuur T (Pa/K)

R_n = netto langgolvlige straling (W/m^2)

G = bodemwarmte straling (W/m^2)

ρ = dichtheid van lucht (kg/m^3)

c = soortelijke warmte van lucht bij constante druk ($1004 J/kg.K$)

r_a = aërodynamische weerstand luchtlaag tussen oppervlak en hoogte z (s/m)

VD = vochtdeficiet (Pa)

γ = psychrometerconstante (ca $0,6 hPa/K$)

λ = verdampingswarmte water ($2,5 MJ/kg$)

Wanneer naast evaporatie ook transpiratie meegenomen wordt (evapotranspiratie ET), is ook het vermogen van de plant om water te transporteren door de huidmondjes bepalend. Hierbij spelen de weerstanden van de huidmondjes en de grenslaag (stilstaande lucht) op het blad een rol. Dit levert een aanpassing van (1) als volgt:

$$ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \frac{K_p C}{r_c} \cdot VD}{\lambda(\Delta + \gamma \cdot (1 + \frac{r_c}{r_a}))} \quad (2)$$

Waarin naast de parameters uit (1):

ET = evapotranspiratie voor referentiegewas (mm/dag)

r_c = gewasweerstand (s/m)

K = omrekeningsfactor

Voor de evapotranspiratie per eenheid grondoppervlak speelt verder de grootte van het gewas (bladoppervlak of LAI) een rol, en voor de energieverdeling binnen het gewas de lichtverdeling in het gewas. Het is daarom niet verwonderlijk dat een flink aantal parameters wordt meegenomen in de schattingen voor de verdamping van kasgewassen. Een overzicht van de voor de berekening van transpiratie gebruikte vergelijkingen wordt onder meer gegeven door Stanghellini (1987) en de Gelder et al 2006. Een vereenvoudigde versie van deze zogenaamde Penman-Monteith vergelijking (2) (Monteith 1990) werd door Baille (1994) ontwikkeld met als enige variabelen de globale straling G, vochtdeficiet VD en leaf area index (LAI), met constanten a, b en k:

$$T = a \cdot (1 - e^{-k \cdot LAI}) \cdot G + b \cdot LAI \cdot VD \quad (3)$$

Voor komkommer onder mediterrane omstandigheden bleek deze vereenvoudigde vergelijking (3) de gerealiseerde verdamping goed te voorspellen (Medrano et al. 2005). Voor groentegewassen en enkele snijbloemen onder Nederlandse omstandigheden wordt een min of meer vergelijkbare schatting gebruikt als (3) waarbij de energieafgifte van de verwarmingsbuizen (R_{vw}) meegenomen wordt. Daarnaast is de LAI vervangen is door een gewasgroottefactor p (de Graaf en Esmeijer 1998) maar is de lichtafname in het gewas niet verdisconteerd. In latere aanpassingen zijn vochtdeficiet voor zomerse omstandigheden meegenomen, en de bijdrage van assimilatielicht aan de globale straling (4):

$$T = (c \cdot G + d \cdot R_{vw} + e \cdot VD) \cdot p \quad (4)$$

De energieafgifte van de buisverwarming R_{vw} wordt berekend met behulp van het verschil van buistemperaturen en kasluchttemperatuur in combinatie met de systeemconfiguratie (buisoppervlakte per oppervlakte-eenheid) in formules zoals beschreven door Nawrocki (1985). Over deze bijdrage van de buisverwarming aan de verdamping is echter relatief weinig bekend. Stanghellini (1987) berekende dat de directe stralingsinvloed van buisverwarming bij tomaat erg gering is, en dat vooral de invloed van buisverwarming via convectie en een verhoging van de kasluchttemperatuur c.q. het vochtdeficiet belangrijk is.

Bij validatie van (4) voor de verdamping van roos bleek dat de bijdrage van de buisverwarming relatief gering was, en dat de verdamping onder hedendaagse praktijkomstandigheden met hoge intensiteit assimilatiebelichting grotendeels met de (binnen)straling verklaard kon worden (Baas en Rijsel 2006).

5.2 Phalaenopsis

De situatie van de verdamping van Phalaenopsis wijkt sterk af van die gewassen als tomaat, komkommer en roos door het volgende:

1. er wordt geschermd en/of gekrijt bij Phalaenopsis om te hoge lichtniveaus tegen te gaan. Omdat de globale straling buiten wordt gemeten zou bij toepassing van een transpiratiemodel op basis van globale straling van de weertoren deze lichtreductie meegenomen moeten worden.
2. de verdamping vindt grotendeels vanuit het substraat plaats. Eerder onderzoek liet zien dat de bijdrage van de substraatverdamping aan de totale verdamping 50-80% bedraagt (Baas 2008). Bij gewassen op substraat is de verdamping vanuit het afgedekte substraat juist nagenoeg verwaarloosbaar.
3. Phalaenopsis is een CAM-plant, waardoor gedurende een groot deel van de dagperiode de transpiratie verhinderd wordt door gesloten huidmondjes. In combinatie met de lagere LAI van Phalaenopsis kan de transpiratie tot 20x lager zijn dan die van vruchtgroentegewassen of snijbloemen.
4. De watergift gebeurt met een veel lagere frequentie bij Phalaenopsis, waardoor het potvochtgehalte en de verdamping continu afneemt. Hierdoor is de evapotranspiratie van vergelijkbare dagen niet met elkaar te vergelijken zoals dit bij gewassen met meerdere watergiften binnen een etmaal wel het geval is.

Bovenstaande maakt dat er aanpassingen aan bestaande verdampingsmodellen nodig zijn om tot meer realistische waarden te komen.

Voor het opstellen van een verdampingsmodel voor de opkweek van Phalaenopsis zijn in een eerder project (Baas 2009) bovendien als uitgangspunten genomen:

- de inputvariabelen van het model moeten eenvoudig te bepalen zijn of al gemeten worden in een praktijksituatie. De configuratie moet bij voorkeur zodanig zijn dat aanpassing van de modelparameters gedurende de teelt niet noodzakelijk is.
- het verdampingsmodel moet relatief eenvoudig te implementeren zijn, waardoor de geschatte verdamping on-line te volgen is, en als ondersteuning voor het beslismoment van de watergift kan dienen bij voorbeeld door vergelijken met een setpoint voor een nagestreefde verdamping.

Het grote aandeel substraatverdamping maakt dat de potverdamping waarschijnlijk goed te vergelijken is met evaporatie vanuit grond. In de literatuur wordt voor evaporatie vanuit grond wel uitgegaan van 3 fasen: een eerste fase waarbij na een watergift de verdamping beperkt is door de energietoevoer, en daarmee vergelijking vertoont met verdamping van een wateroppervlak (Idso 1974). In de tweede fase is de verdamping beperkt door het gebrek aan water in de bovenste substraatlaag en door de hydraulische geleidbaarheid om water vanuit lager gelegen delen aan te voeren. Volgens Ritchie (1972) vermindert de verdamping met de wortel van de tijdsduur na een watergift in deze fase. De derde fase is een min of meer lage constante evaporatie die wordt bepaald door het aan de bodemdelen geadsorbeerd water.

De bij Phalaenopsis duidelijke afname in verdamping in opeenvolgende etmalen na een watergift (Bijlage 1,2) is een sterke indicatie dat de verdamping inderdaad gerelateerd is aan een afname van het vochtgehalte in de pot. Omdat de factor plantgrootte van ondergeschikt belang is bij de verdamping van Phalaenopsis zou de plantgroottefactor in (4) daarom vervangen kunnen worden door een vochtgehaltefactor, welke tussen 0 en 1 ligt, afhankelijk van het substraatvochtgehalte. De potverdamping ET kan dan als volgt geformuleerd worden:

$$ET = ET_{pot} * f = (g * G + h * R_{vw} + i * VD) * f \quad (5)$$

Waarbij

ET_{pot} = potentiële verdamping (mm/dag)

f = vochtgehalte-factor ($0 < f < 1$)

Voor wat betreft de langgolvlige straling wordt normaal gesproken gebruik gemaakt van de globale straling van de solarimeter van de weertoren. Voor weinig geschermd teelten is dit bruikbaar indien de kastransmissie en de bijdrage van assimilatieverlichting accuraat meegenomen wordt. Voor de Phalaenopsis teelt met geringe lichtbehoefte waar geschermd en gekrijt wordt, kan beter gebruik gemaakt worden van een binnenmeting. Over het algemeen wordt de PARmeting gebruikt bij Phalaenopsis teelten.

Wanneer de globale straling wordt omgerekend uit de PARstraling wordt (5) aldus:

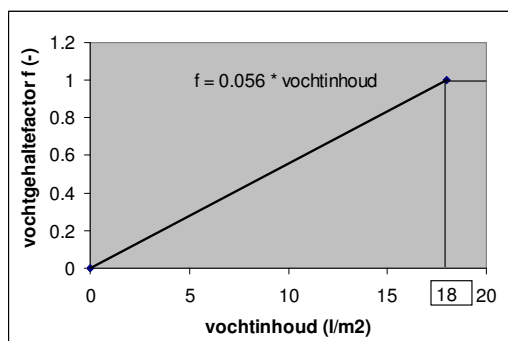
$$ET = (j \cdot PAR + h \cdot R_{vw} + i \cdot VD) \cdot f \quad (6)$$

Met constanten j , h en i en de vochtgehaltefactor f welke afhankelijk is van de vochtinhoud van het substraat. In het verdampingsmodel Phalaenopsis wordt een lineaire afname van de vochtgehaltefactor verondersteld beneden een bepaalde vochtinhoud (Afb. 9).

5.2.1 Parameterisering

Het maximale vochtgehalte van bark in een 12 cm pot met inhoud van 660 ml is ca. 35%. Voor een potdichtheid in opkweek 1 van 83 potten per m^2 is dit 19.1 l/m^2 . Voor de vochtgehaltefunctie is ervan uitgegaan dat onder een vochtgehalte van 33% een lineaire afname van de vochtgehaltefactor (en verdamping) plaats vindt; dit betekent een lineaire afname onder een vochtinhoud van 18 l/m^2 volgens (Afb. 9):

$$f = 0.056 \cdot \text{vochtinhoud} \quad (7)$$



Afb. 9. Gebruikte relatie tussen vochtinhoud en vochtgehaltefactor f

Voor de wateropname na een watergift die invloed heeft op de vochtinhoud (gemaximaliseerd op een vochtinhoud van 19 l/m^2) is de relatie genomen zoals weergegeven in Afb. 5:

$$WO_{som} = 1.69 \cdot \ln(Gift) + 0.2 \quad (8)$$

Waarin:

WO_{som} = wateropname na een gift in (l/m^2)

Gift = watergift (l/m^2)

Omdat de situatie in de KaszonderGas afwijkend is t.o.v. andere bedrijven (geen buisverwarming, maar convector met geforceerde luchtbeweging via ventilatoren) is in eerste instantie de bijdrage van de buisverwarming R_{vw} aan de verdamping verwaarloosd, met andere woorden parameter h in (6) is op 0 gesteld.

Om de verdampingsterm $j \cdot \text{PAR} + i \cdot \text{VD}$ te parameteriseren is gesteld dat het vochtgehalte nog geen invloed heeft op de verdamping op de eerste dag na watergift. Hierbij is gebruik gemaakt van data van gerealiseerde verdamping en gemeten PAR en VD op de dag van watergift van de dataset van Floricultura. Hieruit werd met multi-pele regressie de volgende relatie berekend:

$$ET_{\text{pot}} = 0.148 \cdot \text{PAR}_{\text{som}} + 0.006 \cdot \text{VD}_{\text{som}} \quad (9)$$

Met PAR_{som} in mol/m^2 en
 VD_{som} in $\text{g} \cdot \text{min}/\text{m}^3$

5.3 Vergelijk schatting en realisatie potverdamping

Vergelijkingen (6) – (9) zijn gebruikt in het verdampingsmodel Phalaenopsis om de gerealiseerde verdamping te vergelijken met de geschatte verdamping in de verschillende datasets. Hoewel er soms aanzienlijke verschillen aanwezig waren (Afb. 10) was in algemene zin er een redelijk goede correlatie ($R^2 > 0.7$ Afb. 11). Wel waren er verschillen tussen de verschillende datasets in richtingscoëfficiënt. Zo werd de verdampingsom bij de data van KaszonderGas2009 structureel onderschat. Verschillende redenen kunnen ten grondslag liggen aan de verschillen tussen geschatte en gerealiseerde verdamping. Onderscheid moet hierbij gemaakt worden tussen verschillen in gerealiseerde en geschatte verdamping binnen een bedrijf gedurende de meetperiode en verschillen tussen bedrijven/datasets.

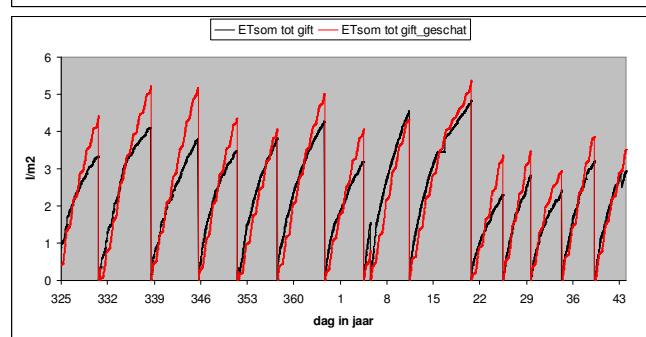
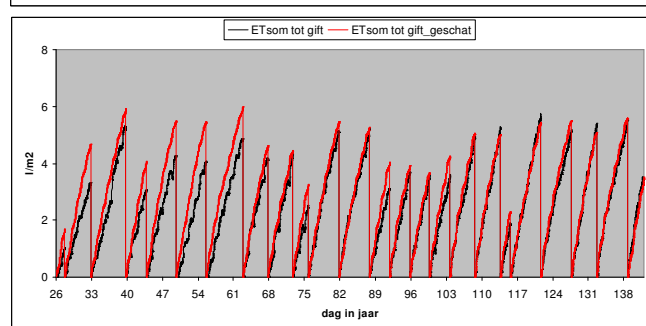
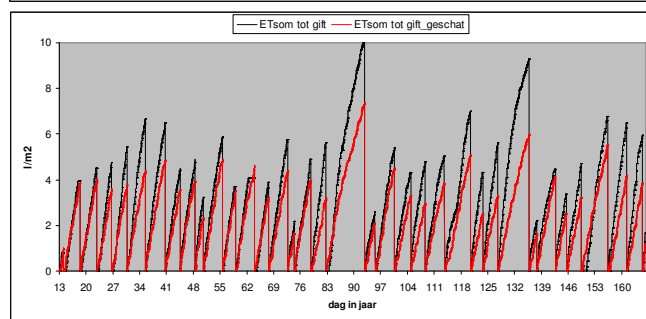
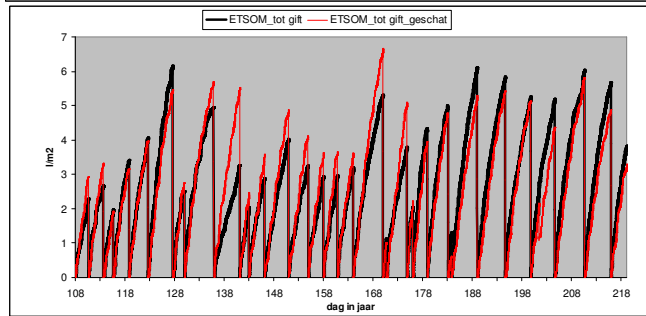
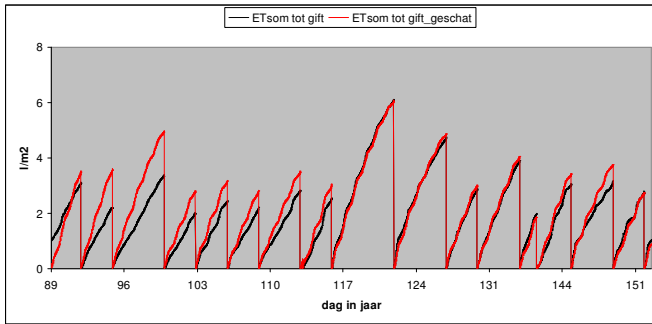
Mogelijke oorzaken voor verschillen in geschatte en gerealiseerde verdamping in de tijd binnen een bedrijf/dataset:

- Ruimtelijke variatie. Metingen van PAR en VD werden soms uitgevoerd op andere plaats dan metingen van verdamping. Zeker wanneer de weegunits verplaatsen kan dit een oorzaak zijn. Dit kan gespeeld hebben bij de dataset van KzG2009 waar gebruik gemaakt werd van klimaatdata verzameld op een andere lokatie dan die van de weegunit
- Meeton nauwkeurigheden. Vooral als gevolg van verplaatsing van containers kon de weging soms tijdelijk afwijkingen vertonen
- Veranderingen in wateropnamekarakteristiek substraat. Dit kan door uitdrogen van het substraat, vertering van sphagnum en/of door beworteling het geval zijn.

Mogelijke oorzaken voor verschillen in geschatte en gerealiseerde verdamping tussen bedrijven/datasets:

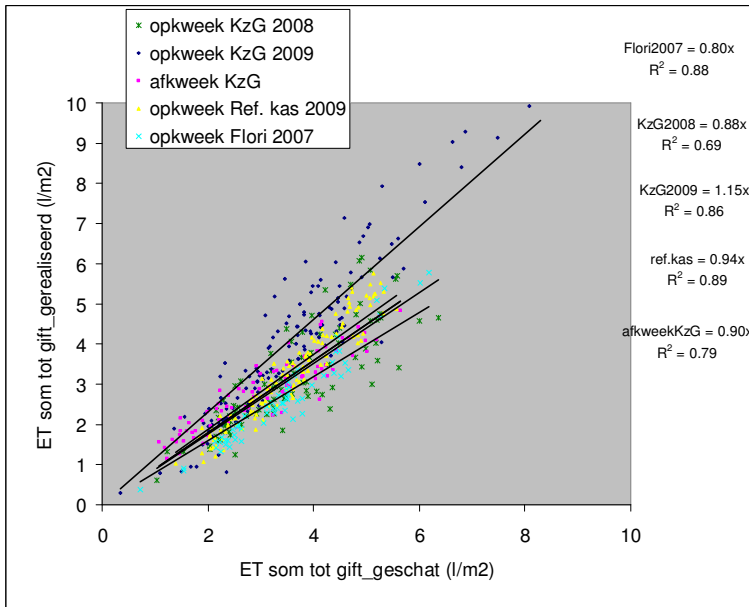
- Substraatverschillen. Opvallend is dat er grote verschillen in potgewicht waren tussen de bedrijven: zo was het potgewicht in de KaszonderGas in 2009 bijna 90 g hoger dan in 2008. (Tabel 1). Een hoger vochtgehalte van substraat zou een hogere verdamping zoals in KzG2009 kunnen verklaren.
- Meetfouten. De meting van PAR, RV en temperatuur is grotendeels met de aanwezige PARmeters en meetboxen verzameld. Hierin kunnen systematische fouten zitten. Daarnaast was de lokatie van de meetbox niet de lokatie van de weging voor de verdampingsbepaling. Ruimtelijke variatie kan daarom ook een rol gespeeld hebben in de verschillen tussen bedrijven in geschatte en gerealiseerde verdamping.

Naast bovenstaande kunnen afwijkingen ontstaan door onnauwkeurigheden in modelvorming. Dit kunnen er vele zijn. Zo is er geen rekening gehouden met de invloed van verwarming en van luchtbeving binnen het bestaande model. Ook kan de afname functie voor de vochtgehaltefactor (Afb. 9) een ander patroon vertonen. Ten slotte is er geen rekening gehouden met plantgrootte en eventuele verschillen tussen soorten op de verdamping.



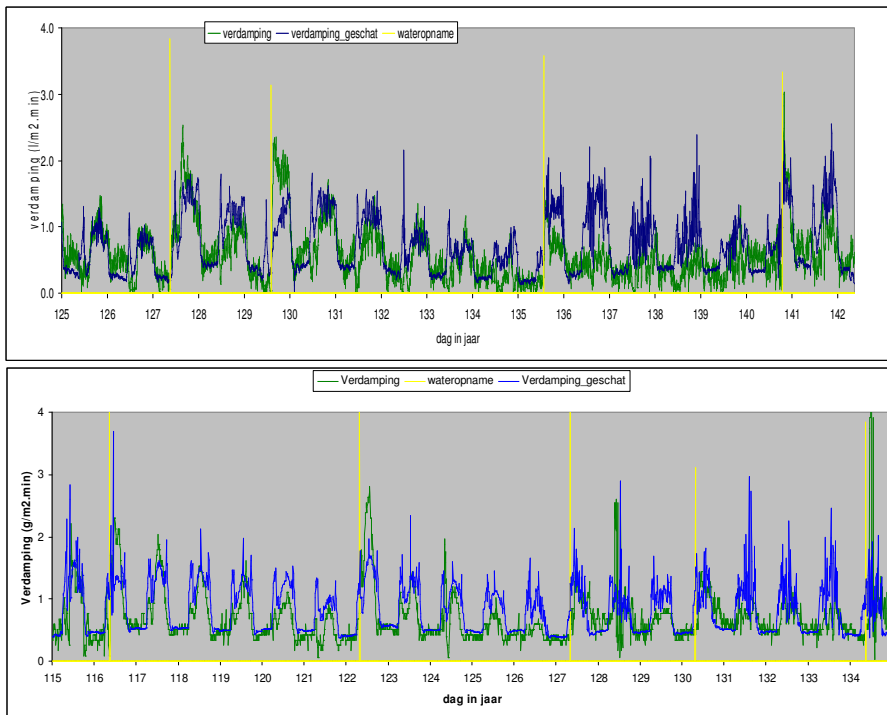
Afb. 10. Gerealiseerde (zwarte lijn) en geschatte (rode lijn) evapotranspiratiesom tussen watergiften.

Van boven naar beneden: opkweek Floricultura 2007, Opkweek KaszonderGas2008, Opkweek KaszonderGas 2009, Referentiebedrijf 2009, en afkweek KaszonderGas



Afb. 11. Relatie tussen de gerealiseerde evapotranspiratiesom (ETsom) van alle etmalen van de verschillende datasets en de geschatte evapotranspiratiesommen.

Uitgaande van de verdampingsom tussen opeenvolgende watergiften kan de korte termijn verdamping berekend worden en vergeleken met de gemeten verdamping. Een 2-tal voorbeelden is gegeven in Afb.12. Hierin blijken de dag-nacht verschillen en de dalende trend na watergift goed weergegeven te worden met het verdampingsmodel.



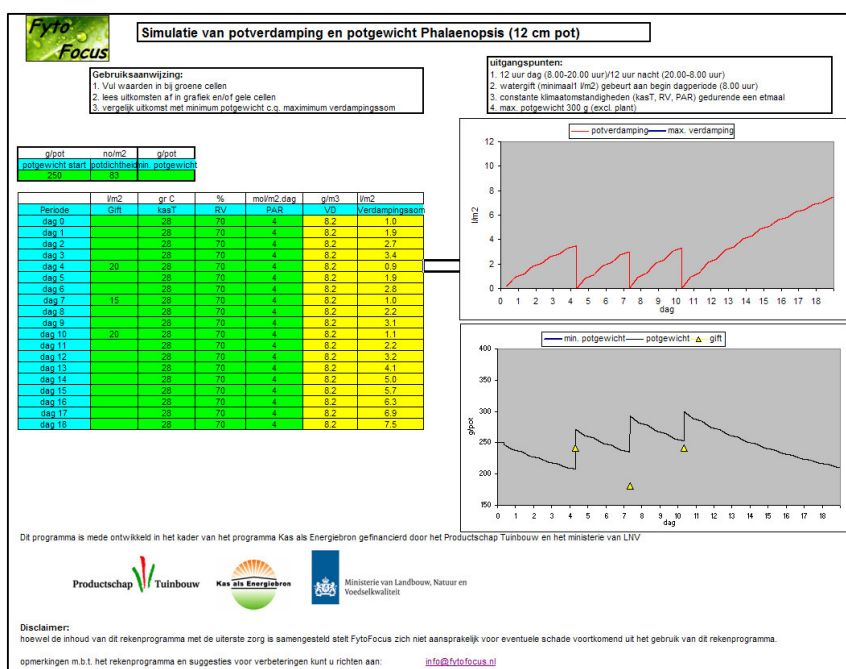
Afb. 12. Gerealiseerde (groen) en geschatte (blauw) minuutverdamping tijdens opkweek KaszonderGas 2008 (boven) en opkweek Floricultura (onder).

5.4 Verdampingsberekeningen

Om de invloed van de factoren RV en PAR en de gevoeligheid van het model voor parameters op de verdamping na een watergift door te rekenen is het verdampingsprogramma gebruikt onder de volgende condities:

- daglengte van 12 uur (lichtperiode 08.00-20.00 uur)
- verzadigde vochtinhoud start 19 l/m² bij potdichtheid van 83 planten per m² (230 g vocht/pot)

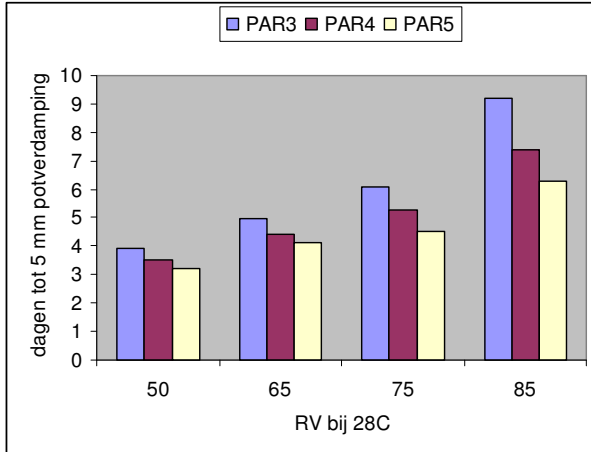
In het Excelbestand **Phal_potverdamping.xls** (www.fytofocus.nl/downloads) kunnen RV, temperatuur en PARsom per etmaal ingevoerd worden waarna de geschatte verdamping en potgewicht weergegeven worden (Afb. 13). Hierbij is 70 g gerekend voor drooggewicht substraat en potgewicht.



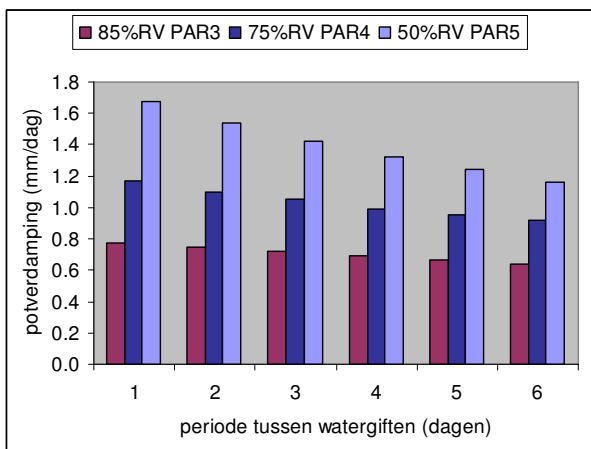
Afb. 13. Screenshot van het bestand Phal_potverdamping.xls

Met behulp van het model zijn een aantal situaties doorgerekend. Zo kan berekend worden hoe lang het duurt voordat een bepaalde verdampingssom bereikt is onder verschillende klimaatomstandigheden. Uit eerder onderzoek bleek dat bij een verdamping van ca. 60 g/pot de eerste verschijnselen van watergebrek optraden bij een teelt van Phalaenopsis (Baas 2009). Bij een potdichtheid van 83 potten/m² is dit een verdamping van ca. 5 l/m². Uitgaande van een verzadigde pot werd berekend dat het tussen de 3 dagen (bij 50% RV, 5 mol PAR) en 9 dagen (bij 85% RV en 3 mol PAR) duurt totdat deze 5 l/m² verdamping bereikt is (Afb. 14).

Op een vergelijkbare wijze is de gemiddelde etmaalverdamping berekend bij een aantal klimaatomstandigheden wanneer de periode tussen watergiften varieert tussen de 1 en 6 dagen (Afb. 15). Te zien is dat de gemiddelde potverdamping met ca. 20% afneemt in het traject van 1 tot 6 dagen. Dit is het gevolg van de vochtgehaltefactor *f* (Afb.9) in het verdampingsmodel. Indien in deze functie de drempel waar beneden de verdamping gaat dalen verlaagd wordt van 18 naar 16 l/m² heeft dit een verdampingsverhogend effect.



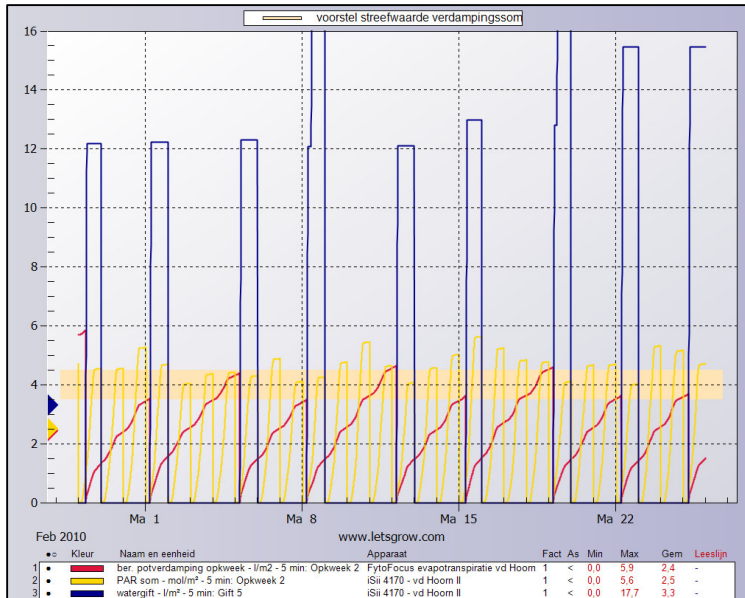
Afb. 14. Berekend aantal dagen tot een verdamping van 5 l/m² bij een potdichtheid van 83 potten/m² bereikt is onder verschillende etmaal PARsommen en etmaalgemiddelde RV. (overeenkomend met vochtdeficiet van ca. 14, 10, 7 en 4 g/m³).



Afb. 15. Berekende gemiddelde etmaalverdamping afhankelijk van klimaatomstandigheden en duur van de periode tussen watergiften.

5.5 Implementatie

Het verdampingsmodel voor de opkweek 1 van Phalaenopsis in 12 cm pot is beschikbaar gemaakt in Letsgrow.com. De benodigde inputparameters zijn het vochtdeficiet in de kas, de PARsom en de watergift. Per kraanvak wordt de geschatte verdampingssom tussen de watergiften weergegeven (Afb. 14). Per kraanvak kan ook een streefwaarde c.q. streefgebied voor de verdampingssom worden ingevoerd. De gebruiker kan de geschatte verdampingssom vervolgens vergelijken met de streefwaarde en eigen inzicht, waarna al dan niet besloten kan worden tot een volgende watergift.



Afb. 14. In Letsgrow.com is de geschatte potverdamping (rode lijn) na een watrigift (blauwe lijn) on-line zichtbaar. Met de horizontale gele band is een voorgestelde verdamping weergegeven.

6 Discussie, conclusies en aanbevelingen

In eerder onderzoek in de KaszonderGas is een verdampingsmodel gebruikt op basis van een regressie met als input het vochtdeficiet en de wateropname c.q. gift (Baas 2009). Bij toetsing van dit regressiemodel voor de in dit huidige project gebruikte data bleek er met name een onderschatting van de verdamping voor de dataset in de afkweek op te treden, bij hoge PARsommen. Daarom is er voor gekozen in het verdampingsmodel naast het vochtdeficiet ook de straling mee te nemen, analoog aan veel gebruikte modellen voor verdamping (5.1). De waargenomen afname van de potverdamping in de tijd is verder gesteld de resultante te zijn van de uitdroging van het substraat, analoog evaporatiemodellen van grond. Deze is daarom als vochtgehaltefactor meegenomen in het huidige model.

Het was met de beschikbare data niet mogelijk een reële schatting te maken van de invloed van de buisverwarming en de luchtbeweging op de schatting van de verdamping. Indirect wordt de buisverwarming meegenomen door de invloed van verwarming op het vochtdeficiet maar de effecten op luchtbeweging en de directe energieafgifte zijn verwaarloosd. Ondanks deze beperking is aan de hand van de meetgegevens in een aantal teeltsituaties een verdampingsmodel ontwikkeld dat redelijk goed de verdamping van Phalaenopsis in 12 cm potten schat. Indirect is dit een aanwijzing dat de invloed van buisverwarming en luchtbeweging op de verdamping relatief beperkt kan zijn. Om deze invloed te kwantificeren zou een experimentele opzet noodzakelijk zijn waarbij de factoren verwarming en luchtbeweging door aan- en uitschakelen onderzocht worden op de verdamping.

Het verdampingsmodel kan een beslissingsondersteunend hulpmiddel zijn voor de watergift tijdens de opkweek, een fase waarin de vocht- en nutriëntenvoorziening essentieel is voor de groei en ontwikkeling van Phalaenopsis. Onderzocht zou kunnen worden of het streven naar gelijke verdampingssommen bij verschillende streefwaarden gedurende de opkweek teelttechnische voordelen heeft.

Momenteel wordt vooral veel vocht afgevoerd via ventilatie om het gewas te drogen na een watergift. Minimalisatie van het aantal watergiften – zonder verlies van groeisnelheid - is vanuit energetisch oogpunt dan ook het meest wenselijk. Dit heeft de laagste etmaalverdamping tot gevolg (Afb. 15).

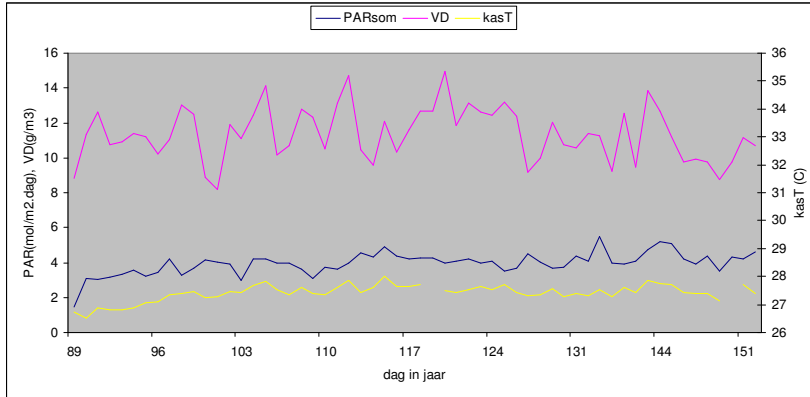
Een indicatie van de energiebesparing is het volgende rekenvoorbeeld: stel dat de benodigde verdamping gereduceerd kan worden met 20%. Uitgaande van een gemiddelde etmaalverdamping van 0.8 l/m^2 (Tabel 1) is dit een besparing van $0.2 * 365 * 0.8 = 58$ liter per m^2 per jaar. Dit is alleen de verdamping vanuit de potten en niet die van het grondoppervlak en andere natte delen. Bij een verdampingswarmte van 2.26 MJ/kg is dit 131 MJ/jaar . Met een calorische waarde van 31 MJ/m^3 aardgas komt dit overeen met een besparing van ca. 4 m^3 per m^2 per jaar. Dit is de situatie wanneer alleen de temperatuur gehandhaafd dient te worden en er geen vochtproblemen zijn. Indien er echter ontvochtigd moet worden en ook de temperatuur gehandhaafd moet blijven dan zal naast de latente warmte ook voelbare warmte bij ventilatie verdwijnen en zal er een grotere besparing mogelijk zijn. Daarentegen zal bij veel instraling geen besparing optreden door een verminderde verdamping omdat voor de temperatuurhandhaving dan geen extra energie benodigd is (M. Raaphorst, pers. mededelingen). Meer gedetailleerd zou berekend moeten worden wat de energetische consequenties zijn van verschillende watergeefstrategieën bij deze verschillende teeltcondities.

Om de verdamping te beperken zijn - indien dit teelttechnisch verantwoord is en geen groeiverlies veroorzaakt - het aanhouden van een laag vochtdeficiet en het beperken van de PARsom bruikbare opties. Daarnaast kan nog gedacht worden aan het reduceren van de substraatverdamping door afdekken of het vergroten van de waterbeschikbaarheid door substraat te gebruiken met een groter vochtleverend vermogen.

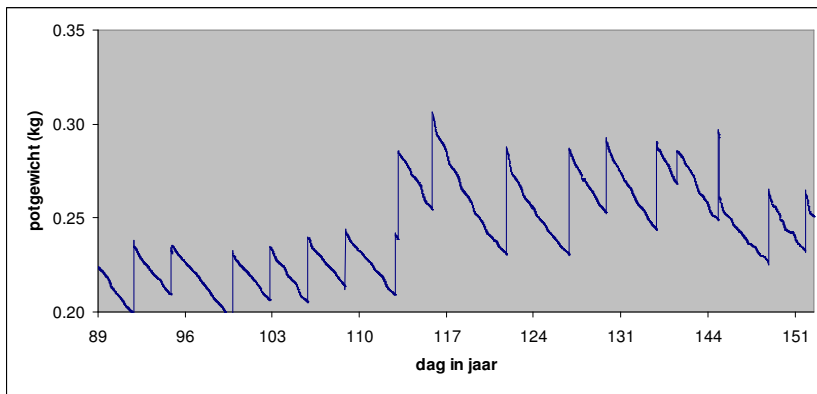
7 Geraadpleegde Literatuur

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irr. & Drain. Paper 56. UN-FAO, Rome, Italy.
- Baas R 2008. Voldoende vocht cruciaal voor bloeiresultaat Phalaenopsis. Vakbl. Bloem. 15: 58-59.
- Baas R 2008. Invloed stikstofvoorziening tijdens de opkweek op Phalaenopsis. PT rapport 12835.
- Baas R 2009. Invloed luchtbeweging op de verdamping en groei van Phalaenopsis in semi-gesloten kas. Rapport Kas als Energiebron.
- Baille, M., Baille, A., Delmon, D. 1994. Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops. Agric. For. Meteorol. 71: 83-97.
- De Gelder A, Campen J, Elings A, Stanghellini C, Meinen E 2006. Luchtcirculatie en productie. PT/LNV rapport PPO publ.nr. 61616052.2.
- Graaf, R. de, Esmeijer, M. 1998. Comparing calculated and measured water consumption in a study of the (minimal) transpiration of cucumbers grown on rockwool. Acta Hort. 458: 103-111.
- Idso SB, R. J. Reginato, R. D. Jackson, B. A. Kimball and F. S. Nakayama 1974. The tree stages of drying of a field soil. Soil Sci Soc Am J 38: 831-837 .
- Medrano, E., Lorenzo, P., Sanchez-Guerrero, M.C., Montero, J.I. 2005. Evaluation and modelling of greenhouse cucumber-crop transpiration under high and low radiation conditions. Scientia Hort. 105: 163-175.
- Monteith, J.L. and Unsworth 1990. Principles of environmental physics. Contemporary Biology. Edward Arnold, London.
- Nawrocki KR 1985. Meting warmteoverdrachtcoëfficiënten voor convectie van verwarmingspijpen in kassen. IMAG rapport 73.
- Ritchie, J.T. (1972). "Model for predicting evaporation from a crop with incomplete cover." Water Resour. Res., 8 (5), 1204-1213.
- Stanghellini C 1987, Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen.

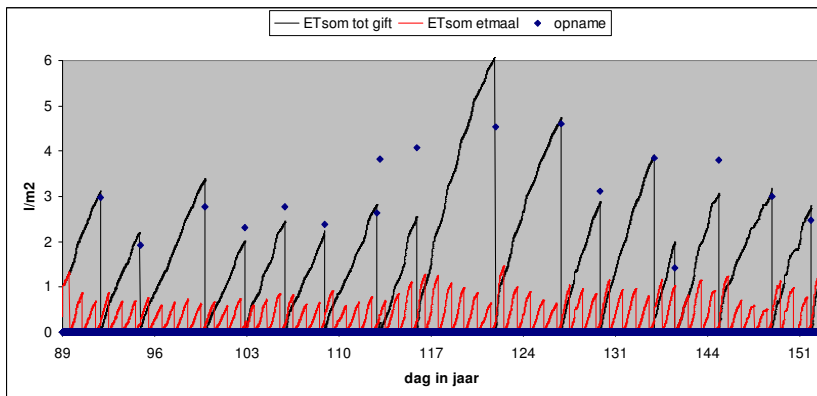
Bijlage 1. Data opkweek Floricultura



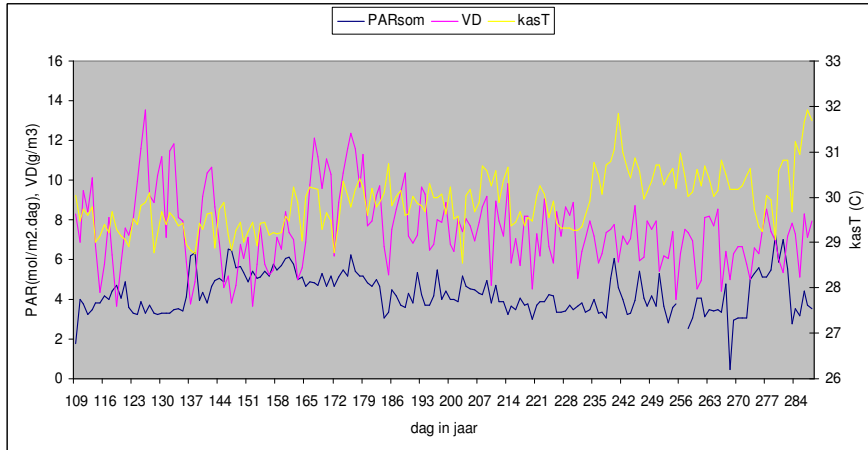
Vochtdeficiet en kasttemperatuur (etmaalgemiddelde) en gecumuleerde PARsom tijdens opkweek Phalaenopsis 2007 in proefkas Floricultura.



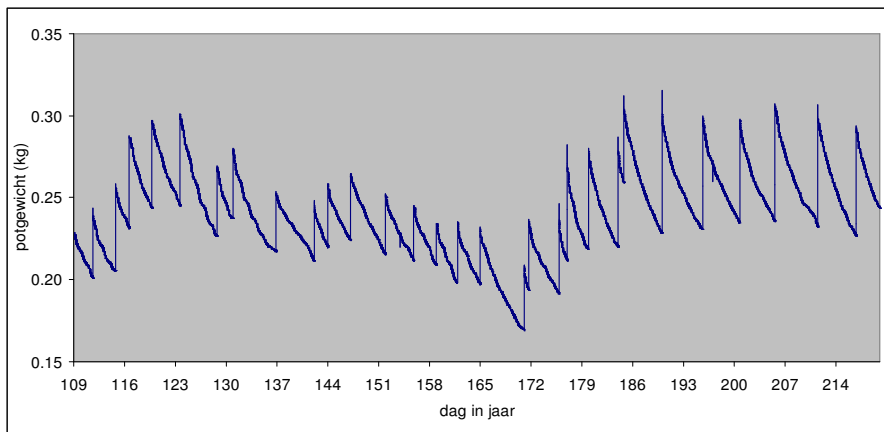
Potgewicht (boven), potverdamping per etmaal (ETsom etmaal) en tot volgende watergift (ETsom tot gift) en wateropname na een gift (figuur onder) tijdens opkweek 2007 in de proefkas Floricultura.



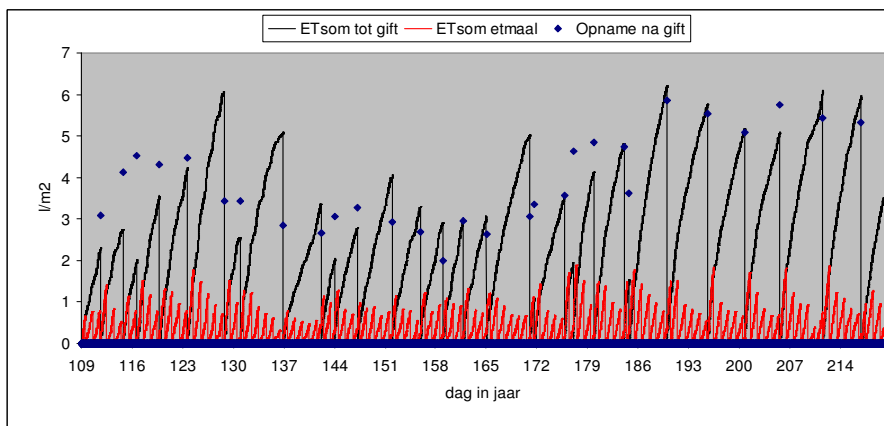
Bijlage 2. Data opkweek 1 KasonderGas

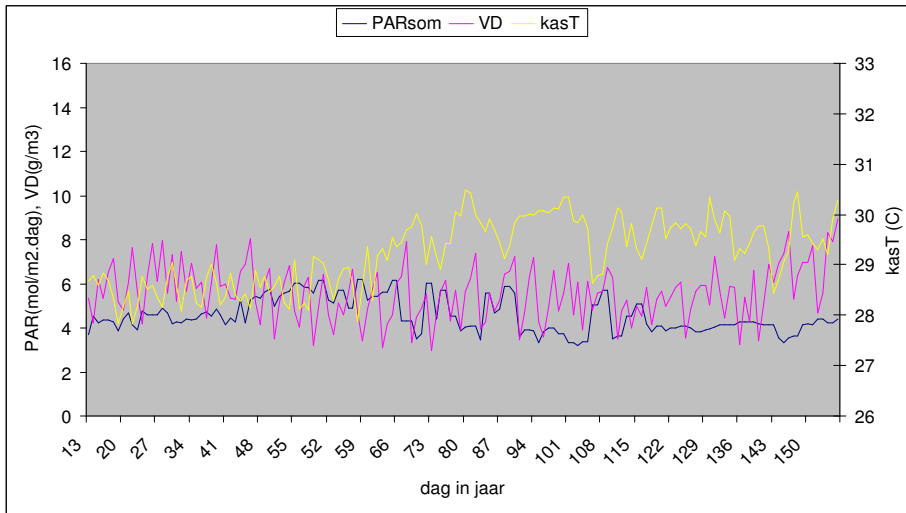


Vochtdeficiet en kasttemperatuur (etmaalgemiddelde) en gecumuleerde PARsom tijdens opkweek Phalaenopsis 2008 in de KaszonderGas.

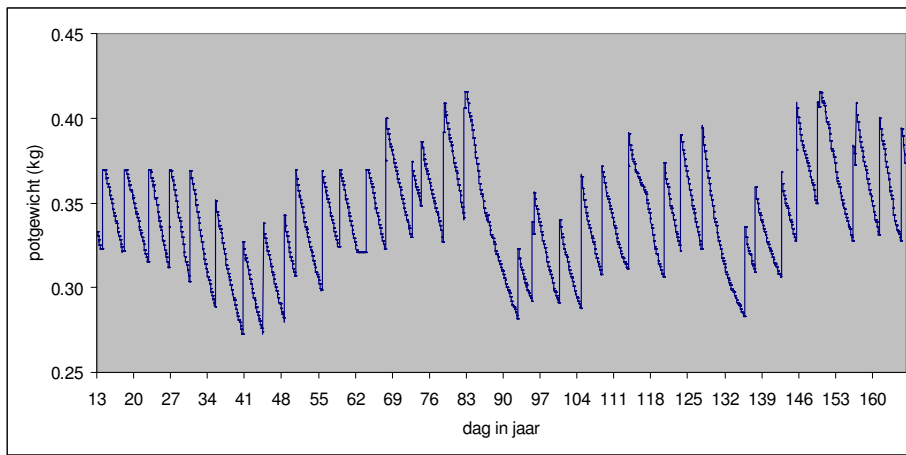


Potgewicht (boven), potverdamping per etmaal (ETsom etmaal) en tot volgende watergift (ETsom tot gift) en wateropname na een gift (figuur onder) tijdens opkweek 2008 in de KaszonderGas.

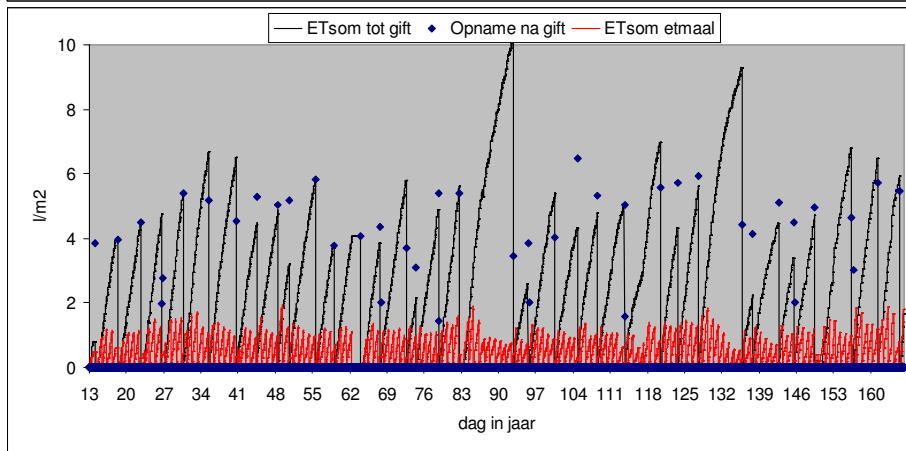




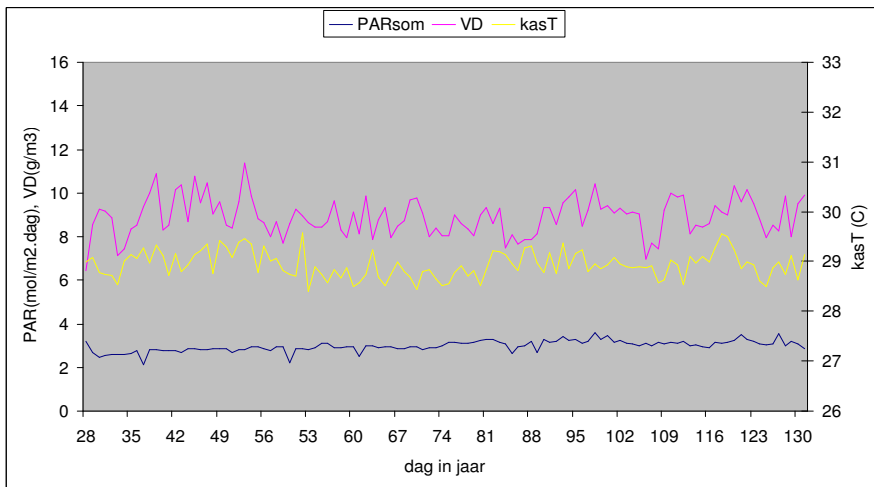
Vochtdeficiet en kasttemperatuur (etmaalgemiddelde) en gecumuleerde PARsom tijdens opkweek Phalaenopsis 2009 in KaszonderGas.



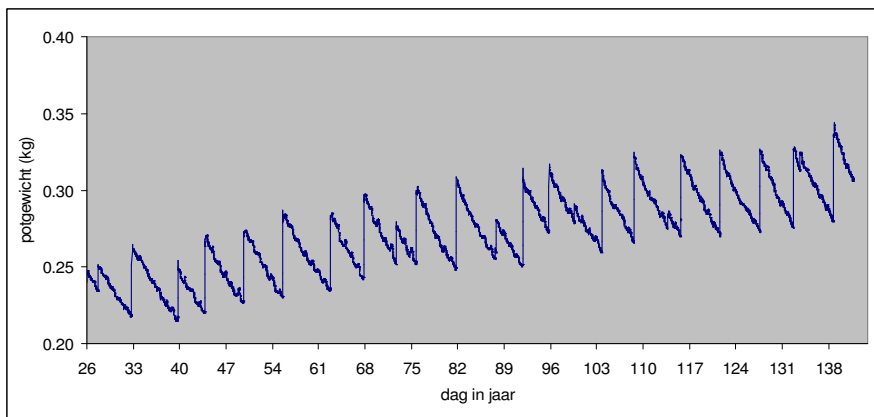
Potgewicht (boven), potverdamping per etmaal (ETSom etmaal) en tot volgende watergift (ETSom tot gift) en wateropname na een gift (figuur onder) tijdens opkweek 2009 in de KaszonderGas.



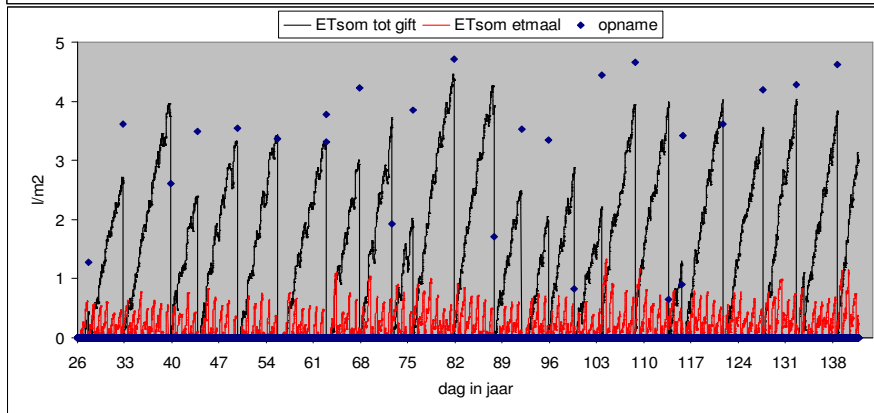
Bijlage 3. Data opkweek 1 referentiebedrijf



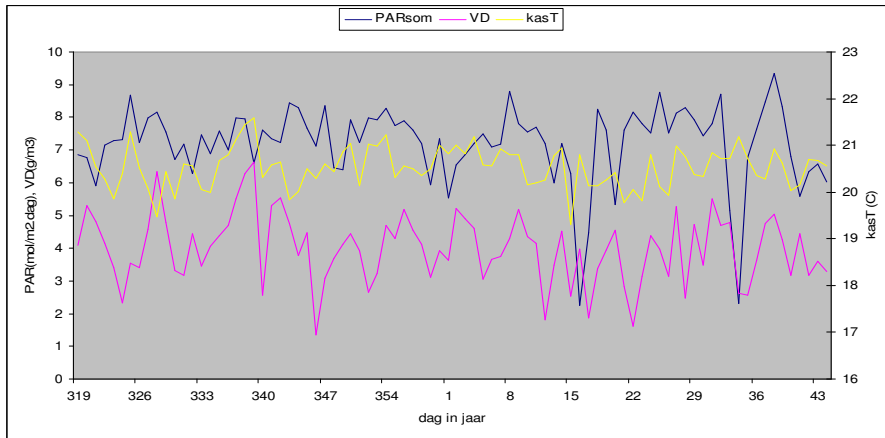
Vochtdeficiet en kasttemperatuur (etmaalgemiddelde) en gecumuleerde PARsom tijdens opkweek Phalaenopsis 2009 in referentiebedrijf.



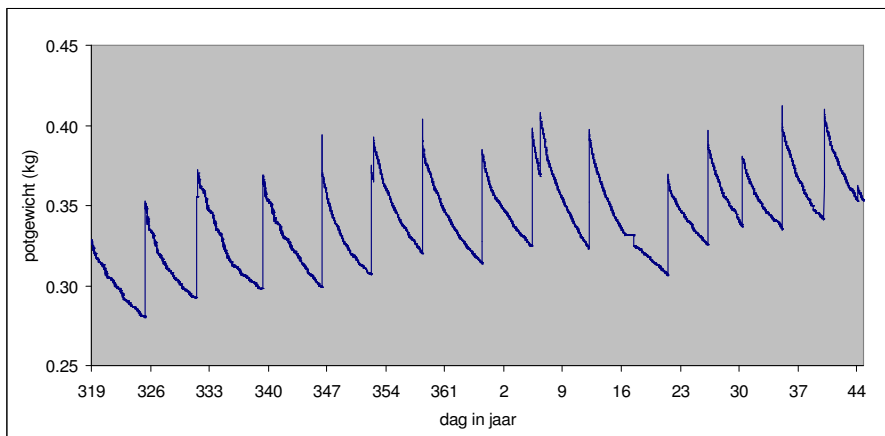
Potgewicht (boven), potverdamping per etmaal (ETsom etmaal) en tot volgende watergift (ETsom tot gift) en wateropname na een gift (figuur onder) tijdens opkweek 2009 in de KaszonderGas.



Bijlage 4. Data Koeling/afkweek KaszonderGas



Vochtdeficiet en kasttemperatuur (etmaalgemiddelde) en gecumuleerde PARsom tijdens gecombineerde koeling/afkweek 2008/2009 in KaszonderGas.



Potgewicht (boven), potverdamping per etmaal (ETsom etmaal) en tot volgende watergift (ETsom tot gift) en wateropname na een gift (figuur onder) tijdens gecombineerde koeling en afkweek 2008/2009 in de KaszonderGas.

