



Make sense GrowSense



DLV Plant
Postbus 7001
6700 CA Wageningen

Agro Business Park 65
6708 PV Wageningen

T 0317 49 15 78
F 0317 46 04 00
E info@dlvplant.nl
www.dlvplant.nl

Gefinancierd door:

Productschap Tuinbouw
Postbus 280
2700 AG Zoetermeer

Uitgevoerd door:

Teake Dijkstra, Dave van Marwijk, Erik de Rooij, Helma Verberkt, DLV Plant
Anton Blaakmeer, Grow@Science
Ad Schapendonk, Sander Pot, Plant Dynamics
Jan Voogt, Hoogendoorn Automatisering BV

In samenwerking met diverse landelijke commissie LTO Groeiservice

In samenwerking met en medefinanciering van:

Grow@Science
growTechnology
Hoogendoorn Automatisering BV
Plant Dynamics

PT-Projectnummer: 11799.01 en 11799.02

Dit document is auteursrechtelijk beschermd. Niets uit deze uitgave mag derhalve worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën, opnamen of op enige andere wijze, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLV Plant. De merkrechten op de benaming DLV komen toe aan DLV Plant B.V.. Alle rechten dienaangaande worden voorbehouden. DLV Plant B.V. is niet aansprakelijk voor schade bij toepassing of gebruik van gegevens uit deze uitgave.



Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding en doel	7
2 Projectplan	9
3 Teeltkarakteristieken, modellen en sensoren	11
3.1 Algemeen	11
3.2 GrowSense: het simulatiemodel als link tussen sensor en productie	11
3.2.1 Modellen: GrowSense of Non Sense	11
3.2.2 Optimalisatie van de balans tussen sink en source	13
3.2.3 Simulatie Source	14
3.2.4 Simulatie sinks	14
3.3 Detaillering van GrowSense: deelprocessen	16
3.3.1 Plantenvoeding	16
3.3.2 Effecten van stress	16
3.3.3 Lange en korte termijn aanpassingen van de plant aan temperatuurswisseling.	17
3.3.4 Plantdichtheid	17
3.3.5 Bij welke instraling is bijbelichten niet meer rendabel?	18
3.4 GrowSense technische leidraad voor modelconstructie	18
3.5 GrowSense en GrowWatch	19
3.6 Relevante plantsensoren voor project GrowSense	20
3.7 Berekende waarden vanuit de sensormetingen	23
4 GrowSense model	25
4.1 Algemeen	25
4.2 Achtergronden van het onderzoek	25
4.3 Interactieve besturingssystemen door koppeling van model en sensor	26
4.4 Technische rapportage GrowSense	27
4.5 Sensoren	27
4.6 Softsensoren	27
4.6.1 Electronentransport (ETR)	28
4.6.2 Berekening huidmondjes geleidbaarheid	29
4.6.3 Berekening VPD	30
4.7 Calibratie van GrowSense parameters	32

4.8	Analyse metingen pilotgewassen	40
5	Modelbeschrijving assimilatie	43
6	Modelbeschrijving on-line stress detectie	47
7	Praktijkmonitoring	51
8	Resultaten praktijkmonitoring Potanthurium	53
8.1	Opzet en meetprotocol potanthurium	53
8.2	Gewaswaarnemingen teeltronde 1	54
8.3	Gewaswaarnemingen teeltronde 2	62
8.4	Klimaat- en growlab waarnemingen	71
9	Resultaten praktijkmonitoring Kalanchoe	79
9.1	Opzet en meetprotocol Kalanchoe	79
9.2	Gewaswaarnemingen bedrijf 1	80
9.3	Gewaswaarnemingen bedrijf 2	86
9.4	Klimaat- en growlab waarnemingen	92
10	Resultaten praktijkmonitoring Spathiphyllum	97
10.1	Opzet en meetprotocol Spathiphyllum	97
10.2	Gewaswaarnemingen bedrijf 1	98
10.3	Gewaswaarnemingen bedrijf 2	110
10.4	Klimaat- en growlab waarnemingen	118
11	Uitbreiding van de metingen bij diverse potplanten	120
11.1	Inleiding	120
11.2	Materiaal en methode	121
11.3	Keuze van gewas en ras	121
11.4	Meetschema	121
11.5	Klimaatomstandigheden tijdens metingen	122
12	Resultaten metingen bij diverse potplanten	126

12.1	Verloop van de huidmondjes geleidbaarheid over de dag	126
12.2	Variatie in VPD_{blad} afhankelijke geleidbaarheid	127
12.3	Fotosynthesemetingen: spreiding tussen cultivars en invloed licht	131
12.4	Fotosynthesemetingen: invloed CO_2	148
13	Paspoort parameters fotosynthese en conclusies	155
14	Economische evaluatie	157
14.1	Inleiding	157
14.2	Resultaten GrowWatch	157
14.3	Kosten GrowWatch	158
15	Conclusies en aanbeveling	161
Bijlage 1	Teeltkarakteristieken	164
Bijlage 2	Literatuurlijst groeimodellen	167
Bijlage 3	Lijst van parameters	171
Bijlage 4	Luchtvochtigheid	173
Bijlage 5	Licht	175

Samenvatting

Binnen het onderzoekplan 'Make Sense. GrowSense' is een nieuw klimaatmonitorings-systeem ontwikkeld om de gewasgroei en gewasontwikkeling in de potplantenteelt te optimaliseren en om zodoende te komen tot een beter bedrijfsrendement. De kern van dit systeem wordt gevormd door groeimodellen die gekoppeld zijn aan plantsensoren. Er is een methode ontwikkeld om grenswaarden vast te stellen voor temperaturen in de kas, in interactie met RV, lichtintensiteit en CO₂, ter bewaking van de teelt en als eerste aanzet voor een economische optimalisatie. DLV Plant heeft in samenwerking met de desbetreffende landelijke gewascommissie van LTO Groeiservice, Grow@Science, growTechnology, Hoogendoorn Automatisering BV en Plant Dynamics BV het project uitgevoerd.

Het GrowSense model kan voor meerdere doeleinden in de bedrijfsvoering ingezet worden. Als waarschuwingssysteem dat aangeeft dat de lichtbenutting van het gewas langdurig veel lager blijft dan verwacht mag worden op basis van de gemeten kasklimaat condities. Dit kan het gevolg zijn van een verkeerde EC in de voeding, een ziekte of essentiële fouten in de klimaatcontrole. Als optimaliseringinstrument wat de mogelijkheid biedt om het kasklimaat binnen een etmaal aan te passen, de productiviteit te verhogen en energie te besparen. Als toepassing bij een leerproces. Met de data kunnen vergelijkingen worden gemaakt tussen klimaatcondities maar ook tussen cultivars.

Als pilotgewassen zijn Kalanchoë, Spathiphyllum en potanthurium gekozen. In eerste instantie is een overzicht gemaakt van diverse simulatiemodellen en van relevante plantsensoren. Aan de hand van deze kennis en de gewaskennis is een generiek model opgesteld. In dit model wordt een schatting gemaakt van de droge stof productie per oppervlakte-eenheid op basis van licht, temperatuur, CO₂ en RV/VPD. Daarbij zijn, naast metingen van de kaslucht en instraling, ook directe metingen verricht aan het gewas zoals gewas/bladtemperatuur en fotosynthese m.b.v. de Plantivity. Aanvullend zijn metingen verricht met de LiCor-6400 aan de pilotgewassen. Bij deze metingen is gekeken naar directe effecten van veranderingen in o.a. temperatuur, CO₂ en licht op de fotosynthese.

Het GrowSense model voorziet met 4 gewasspecifieke parameters in een 'softsensor' die aanvullend werkt op de metingen aan de omgevingsfactoren. Het generieke model is omgezet naar software voor toepassing in de praktijk. Monitoring en toetsing van het GrowSense model heeft gedurende 1 jaar op twee praktijkbedrijven per pilotgewas plaatsgevonden. In totaal dus op 6 praktijkbedrijven. Op de bedrijven is hiervoor een uitgebreide meetset geplaatst en zijn de diverse parameters in het GrowSense model vastgelegd en indien nodig bijgesteld. De meetset, Growlab genaamd, is uitgerust met een temperatuur sensor, RV sensor, CO₂ sensor, bladtemperatuur camera, twee PAR-licht sensoren en de Plantivity. Aanvullend is op een aantal bedrijven een WET sensor aangebracht voor meting van de EC, potttemperatuur en het vochtgehalte. Met de Plantivity wordt indirect de fotosynthese van het gewas gemeten. Deze meting wordt met een 'softsensor' vertaald in droge stof groei per vierkante meter blad. Met de meter kan een schatting worden gemaakt van de groei van het gewas binnen de heersende groeiomstandigheden.

Er is gestart met praktijkmonitoring zodat duidelijk wordt wanneer en onder welke omstandigheden de fotosynthese hoog dan wel laag is en wanneer stress optreedt. Op basis hiervan kan in overleg met de teler de klimaatsturing plaats vinden. De deelnemende telers, die direct middels het softwarepakket GrowWatch de gegevens online konden bekijken, geven aan dat er zeker toekomst in zit, maar dat het wel opnieuw leren en pionieren is. Het zijn nu vooral de extremen in het klimaat en plantreacties waar naar gekeken wordt. Met name de geavanceerde assimilatie en NPQ (Non Photochemical Quenching ofwel lichtbelasting of plantenstress) zijn interessante gewasmetingen. Dat de feedback van de plant terug te zien is op de computer, vinden ze zeker een welkome aanvulling. In de toekomst is het de bedoeling dat het klimaat mede op de plantreacties gestuurd gaat worden.

Als uitbreiding op het project is voor 10 gewassen, de 4 specifieke gewasparameters bepaald voor het GrowSense model. Dit zijn: Cycloam, potchrysant, Poinsettia, Bromelia, Saintpaulia, Begonia, Hortensia, Ficus, Schefflera en Varen. Hierbij is gekeken naar de licht respons, CO₂ respons en huidmondjesreactie.

Het GrowSense project heeft een meetmethode opgeleverd waarmee niet alleen continu het verloop van belangrijke omgevingsfactoren in de kas kan worden geregistreerd maar die ook het unicum biedt om de plant zelf te monitoren via de meting van bladtemperatuur en bladfotosynthese. De methode is ontwikkeld voor potplanten en bestaat uit hardware (de sensoren) en programmatuur. De programmatuur (softsensoren) combineert de uitvoersignalen van de sensoren met fundamentele fysiologische inzichten. Deze inzichten en kennis zijn gebaseerd op kennis van fotosynthese, fluorescentie en fysische processen die de afgelopen 15 jaar zijn opgebouwd. Toch is de GrowSense meetmethode de eerste applicatie waarin over langere termijn continu informatie wordt verzameld over de fotosynthese en de stressgevoeligheid van een gewas. Dit is mogelijk door de beschikbaarheid van robuuste sensoren en de verbeterde technische mogelijkheden om software snel in meetroutines te implementeren en te toetsen. Naast de genoemde hardware is GrowSense voorzien in een aantal softsensoren, bestaande uit rekenregels die de uitvoer van de hardware aanvullen en vertalen naar cijfers over assimilatie en stressgevoeligheid van het meetblad. De objectieve continue registratie van de plantvitaliteit door middel van plantsensoren maakt het de teler mogelijk om op het scherp van de snede te telen. Door het gericht meten en regelen op gewasreacties is dit systeem breed inzetbaar voor (uiteindelijk) de gehele glastuinbouw.

Aanbevolen wordt het huidige GrowSense model uit te breiden met een module voor de VPD-afhankelijkheid van de fotosynthese, in relatie tot de te realiseren omgevingscondities temperatuur, licht en CO₂. Uit dit onderzoek is namelijk het grote belang van de VPD-afhankelijkheid gebleken. Tevens is het duidelijk geworden dat het rendement van de productie van potplanten nog sterk verbeterd kan worden door bij hogere lichtintensiteiten te telen. Dit kan alleen als de optimalisatie van licht en VPD gebaseerd worden op softsensoren die de reacties van de huidmondjes goed voorspellen. De tool is bedoeld als instrument, waarmee de teler zelf uit de voeten kan en beter inzicht krijgt in teeltoptimalisatie en energiebesparingsmogelijkheden.

1 Inleiding en doel

Binnen de klimaatregeling (o.a. scherm, temperatuur, CO₂, RV) wordt nog veel met (vaste) setpoints gewerkt. De registratie van reacties van planten op veranderingen in de omgevingscondities berust momenteel voornamelijk op visuele waarnemingen en op ervaringen, die achteraf geconstateerd zijn. De teelt van potplanten is zeer divers in Nederland. Enerzijds worden er een groot scala aan producten geteeld, anderzijds worden binnen een teelt diverse ontwikkelingsstadia onderscheiden. In Denemarken is een model (IntelliGrow) ontwikkeld om te komen tot een optimale gewasgroei met een laag energieverbruik. Afhankelijk van de gemeten straling vlak boven het gewas en het gemeten CO₂-niveau wordt een optimum temperatuur berekend. Verder wordt berekend hoe ver de temperatuur mag variëren om een acceptabele groei te verkrijgen (b.v. 80% van het fotosynthese optimum). Ook kan afhankelijk van het lichtniveau en temperatuur het CO₂-niveau aangepast worden. Praktische problemen binnen dit systeem vormt de onrust in de (ventilatie)regeling en de koppeling om de buitenomstandigheden in de regeling te betrekken. Binnen Nederland zijn reeds systemen om de buitenomstandigheden te koppelen aan de klimaatregeling en wordt gewerkt aan licht- en temperatuurintegratie modellen.

Binnen de klimaatregeling worden op bedrijfsniveau compromissen gemaakt tussen de sturing op de diverse ontwikkelingsstadia. Daarbij staat het bedrijfsrendement centraal. Telers kunnen een betere keuze maken als duidelijk wordt welke consequentie klimaataanpassingen hebben op de gewasgroei, gewasontwikkeling en andere managementdoelstellingen, zoals de mate van energiebesparing en het totale bedrijfsrendement. Omdat er van potplanten weinig bekend is over de reacties op licht, temperatuur en CO₂ is juist in deze sector zeer veel te bereiken met een objectieve registratie van plantreacties op veranderingen in omgevingscondities en daar actief op in te spelen met de klimaatregeling.

Het regelen van het klimaat op basis van planttemperatuur lijkt goede perspectieven te bieden om de groei te optimaliseren en energie te besparen. Uit metingen blijkt dat de gewastemperatuur wel vier graden kan afwijken van de kasluchttemperatuur. Daarnaast reageert de planttemperatuur sneller dan de ruimtetemperatuur. Uiteindelijk bepaalt de planttemperatuur de netto-fotosynthese en de ontwikkelingssnelheid van een gewas. Binnen Nederland wordt gewerkt aan een verbeterde manier van planttemperatuurmetingen. Hierbij wordt de planttemperatuur op meerdere plaatsen gemeten, waardoor een beter beeld ontstaat van de planttemperatuur en de regeling verfijnd kan worden. Ook het meten van de chlorofylfluorescentie kan een aanvullende maat zijn voor een verbeterde regeling van het klimaat. Tevens kan op basis hiervan de assimilatiebelichting gericht aangestuurd worden.

Door de kennis op het gebied van modellen (IntelliGrow, temperatuur integratiemodellen e.d.), verbeterde en vernieuwde methode van metingen (planttemperatuur, fotosynthese, chlorofylfluorescentie) en gebruik makend van technieken om beter in te spelen op de buiten klimaat omstandigheden is binnen dit onderzoeksplan een vernieuwd model ontwikkeld, het zogenoemde: GrowSense model met als doel de groei en ontwikkeling van potplanten verder te optimaliseren en te komen tot een hoger bedrijfsrendement. Met GrowSense wordt

snel inzicht verkregen bij welke licht-, CO₂- en plant temperatuurniveaus optimale groei wordt verkregen en hoever deze mogen variëren om enerzijds een acceptabele groei en ontwikkeling te verkrijgen en anderzijds gewasschade te voorkomen. Hierdoor worden de risico's bij het toepassen van b.v. meer licht/straling in de kas en temperatuurintegratie ook geringer.

De doelstelling van het GrowSense project is het ontwikkelen en implementatie van een verbeterd klimaatmonitoringssysteem GrowSense met als hoofddoel gewasgroei en gewasontwikkeling te optimaliseren en te komen tot een beter bedrijfsrendement. Als nevendoelen kan dit systeem leiden tot energiebesparing binnen de teelttechnische (qua gewas en ontwikkelingsstadium) en economische grenzen, afvlakking piekverbruik en vermindering van toepassing van groeiregulatoren door gerichtere morfologisch sturing. Er wordt een methode ontwikkeld om grenswaarden vast te stellen voor temperaturen in de kas, in interactie met RV, lichtintensiteit en CO₂, ter bewaking van de teelt en als eerste aanzet voor een economische optimalisatie. De objectieve continue registratie van de plantvitaliteit maakt het de tuinder mogelijk om op het scherp van de snede te telen. Hij kan zelf waarnemen of een combinatie van factoren gunstig uitpakt of niet en dat is tevens de enige basis voor een goed bedrijfsrendement.

Dit onderzoek heeft zich in eerste instantie gericht op een aantal pilotgewassen binnen de potplantenteelt die ten aanzien van klimaatbehoefte duidelijk van elkaar verschillen (met name ten aanzien van temperatuur en licht), zodat de toepasbaarheid breed onderzocht wordt en de resultaten makkelijk te vertalen zijn naar andere gewassen. Naast de 3 pilotgewassen Kalanchoe, potanthurium en Spathiphyllum is ook vanuit diverse andere gewascommissies de vraag gesteld voor de ontwikkelingsmogelijkheden van een gewasspecifieke groeilijn. In de BCO potplanten is dit voorstel nader besproken en uitgewerkt. Naar aanleiding hiervan heeft een uitbreiding plaatsgevonden met als doelstelling metingen van de 4 gewasspecifieke parameters voor toepassing in een 'softsensor' zoals uitgevoerd is voor de 3 pilotgewassen binnen het GrowSense project. De metingen zijn verricht aan 10 gewassen en eveneens verwerkt in dit verslag.

2 Projectplan

Dit onderzoek richt zich in eerste instantie op een aantal pilotgewassen binnen de potplantenteelt die ten aanzien van klimaatbehoefte duidelijk van elkaar verschillen, met name ten aanzien van temperatuur en licht, zodat de toepasbaarheid breed wordt onderzocht en de resultaten makkelijk te vertalen zijn naar andere gewassen. Daarnaast is het van belang dat de pilotgewassen belangrijk economische gewassen zijn binnen de potplantenteelt. In overleg met de diverse gewasgroepen van LTO Groeiservice is gekozen voor de pilotgewassen:

- Potanthurium,
- Kalanchoe en
- Spathiphyllum

Het project is uitgevoerd in 5 fasen.

Fase 1

In eerste instantie is alle kennis over modellen (IntelliGrow, temperatuur integratiemodellen e.d.), methode van gewasmetingen (planttemperatuurmeting en chlorofylfluorescentie e.d.) en kennis m.b.t. planttemperatuur uit literatuur en praktijk van de drie pilot gewassen in kaart gebracht.

Fase 2

De kennis uit fase 1 is aangevuld met praktijkervaringen van telers en adviseurs en geïntegreerd tot een vernieuwd model: **GrowSense**.

Fase 3

Voor de drie pilot gewassen is door middel van metingen onder diverse licht, temperatuur, RV en CO₂-omstandigheden het model getoetst.

Fase 4

Na toetsing en bijstelling van het model is gedurende 1 jaar de drie pilot gewassen geteeld onder praktijkomstandigheden en gemonitored met het **GrowSense-systeem**. Belangrijk hierbij was om diverse ontwikkelingsstadia in het onderzoek te betrekken en meerdere teelten te volgen onder verschillende buiten- en kasklimaatomstandigheden.

Fase 5

Na verwerking en interpretatie van de onderzoekgegevens is het vernieuwde systeem verfijnd en omgezet in een praktisch monitoringssturingssysteem. Daarnaast heeft een economische evaluatie plaats gevonden.

Het onderzoek is uitgevoerd door DLV Plant in samenwerking met de desbetreffende landelijke gewascommissie van LTO Groeiservice, Grow@Science, growTechnology, Hoogendoorn Automatisering BV en Plant Dynamics BV. Voor het project is een BCO samengesteld met leden van de deelnemende bedrijven. Daarnaast hebben vanuit elk pilot gewas 2 telers zitting in de intensieve begeleiding gehad. De uitvoering van het project is in

nauwe samenspraak met de BCO uitgevoerd. Daarnaast heeft regelmatig terugkoppeling plaats gevonden met de BCO Potplanten van LTO Groeiservice.

Vanuit de BCO is aangegeven om te starten met praktijkmonitoringssysteem zodat duidelijk wordt wanneer en onder welke omstandigheden de fotosynthese hoog dan wel laag is en wanneer stress optreedt. Op basis hiervan kan in overleg met de teler de klimaatsturing plaats vinden. Indien gewenst kan vooraf (theoretisch) berekend worden wat dit voor effect heeft op de productie en vervolgens gemeten worden in de praktijk.

3 Teeltkarakteristieken, modellen en sensoren

3.1 Algemeen

In eerste instantie is een overzicht gemaakt van diverse simulatiemodellen en van relevante plantsensoren. De resultaten daarvan staan weergegeven in de volgende paragrafen. Daarnaast zijn teeltkarakteristieken opgesteld van de drie pilotgewassen. De teeltkarakteristieken staan weergegeven in Bijlage 1 Teeltkarakteristieken.

In het kader van het project 'GrowSense' volgt in paragraaf 3.2 een beknopte samenvatting van de beschikbare modellen en een daarop gebaseerde blauwdruk voor de gewenste rekenalgoritmes die sensorsignalen vertalen naar productiecapaciteit dan wel de haperingen die daarin optreden als gevolg van stressfactoren. Deze studie is uitgevoerd door Ad Schapendonk van Plant Dynamics.

3.2 GrowSense: het simulatiemodel als link tussen sensor en productie

3.2.1 Modellen: GrowSense of Non Sense

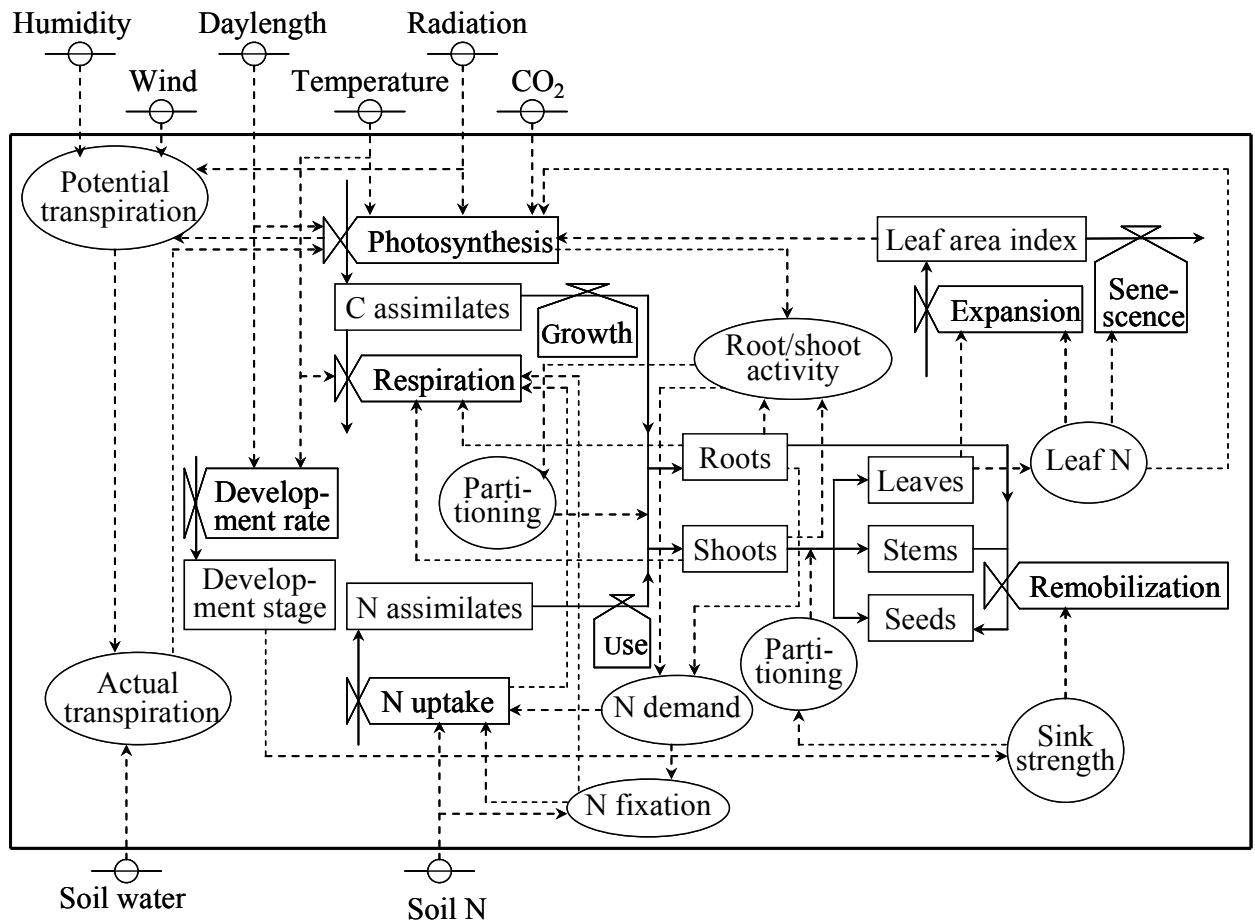
Modellen worden gemaakt voor uiteenlopende doelen. Eén doelstelling hebben alle modellen echter gemeen: overtuigende presentatie aan derden. Beschrijvende en verklarende modellen moeten daarom systemen kunnen beschrijven c. q. verklaren voor de modellenbouwer en anderen. Vooral verklarende modellen worden echter vaak zo onduidelijk gepresenteerd dat alleen de auteur zelf doorziet hoe zijn model het waargenomen systeemgedrag verklaart. De bijgevoegde literatuurlijst is een resultaat van een literatuurstudie naar modellen die in de tuinbouw worden gebruikt met bruikbare informatie voor dit project (zie Bijlage 2 Literatuurlijst groeimodellen). Niet alle modellen zijn speciaal toegespitst op de tuinbouw maar bevatten bruikbare routines. Er is op dit moment geen model beschikbaar dat direct toepasbaar is voor Growsense omdat de meeste modellen geen direct gemeten informatie als input gebruiken.

Het programma Tomsim (TOMaten SIMulator) is een voorbeeld van een gewasgroei- en produktiemodel voor de tomaat dat in de "Wageningse" traditie is opgezet, gebaseerd op SUCROS. In het navolgende stuk wordt het als voorbeeld kort beschreven. Het programma berekent de productie van tomaten tijdens een kasteelt in Nederland aan de hand van door de gebruiker in te voeren gegevens, zoals de kastemperatuur en CO₂-concentratie. Door het noodzakelijk energieverbruik te berekenen en rekening te houden met de veilingprijzen in de loop van het jaar, wordt inzicht gegeven hoeveel er als tuinder verdiend zou worden, maar ook of het milieu extra belast wordt door een hoog energieverbruik. Op basis van fotosynthese, ademhaling en verdeling van assimilaten binnen de plant wordt de opbrengst (kg) van tomaten voorspeld. De balans tussen fotosynthese en vraag naar fotosynthese producten' (sinksterkte) in een plant, bepaalt het aantal vruchten per tros. Veel bloemabortie zal optreden wanneer de fotosynthese t.o.v. de sinksterkte laag is (bv. bij laag licht gecombineerd met een hoge temperatuur). Beïnvloedende factoren zijn: licht, temperatuur en koolzuurconcentratie (CO₂). Meer licht betekent een hogere fotosynthese en daardoor meer groei en

productie. Temperatuur heeft binnen betrekkelijk ruime grenzen (15 – 25°C) weinig invloed op de fotosynthese. Temperaturen buiten dit traject verlagen de fotosynthese. Een hogere temperatuur doet de ademhaling toenemen. Temperatuur heeft vooral invloed op de ontwikkelingsprocessen. Een hogere temperatuur verhoogt de bloeisnelheid (na een week meer nieuwe trossen aan de plant) en versnelt het afrijpen van de vruchten. Een kortere groeidiur voor een vrucht betekent echter tevens een lager vruchtgewicht. Bij een jong gewas (kleine planten) betekent een hogere temperatuur ook een snellere toename van de lichtonderschepping door de plant (hogere bladafplitsings-snelheid en dunnere bladeren met een groter bladoppervlak). Een hogere koolzuurconcentratie (CO₂) betekent een hogere fotosynthese en daardoor meer groei en productie. Boven een concentratie van 3 maal de buitenwaarde, die ca. 340 ppm bedraagt, heeft CO₂ vrijwel geen invloed meer op de fotosynthese (verzadigings-niveau is bereikt).

Het TOMSIM model is in principe bruikbaar maar het mist een mechanistische fotosynthese routine en de modules die ontwikkeling van het gewas beschrijven zijn vooral gebaseerd op statistiek. In het GrowSense project willen we proberen om daarboven uit te stijgen. Een tweede bezwaar van de “oude” SUCROS achtige modellen is het gebrek aan gebruiksvriendelijke interfaces en gemakkelijk te gebruiken standaard modules die uitgebreid getest zijn. Daardoor worden gebruikers telkens weer gedwongen om het wiel opnieuw uit te vinden.

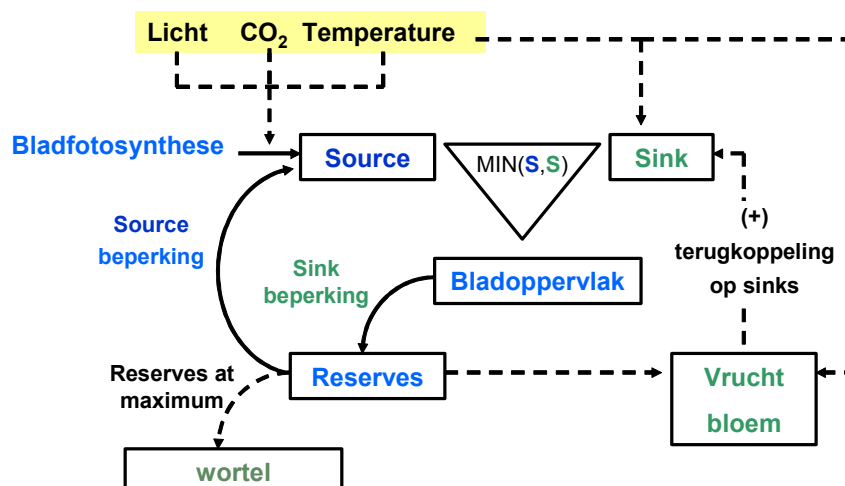
Recent is hier verbetering in gebracht en is voor het eerst een model ontwikkeld dat modulair is opgebouwd en is gebaseerd op de laatste fysiologische inzichten. In januari 2005 is dit model (GECROS) gepresenteerd. Helaas ontbreekt ook hier een gebruiksvriendelijke interface. Voor het GrowSense project is dit echter niet van wezenlijk belang. Na het bestuderen van het model is de conclusie getrokken dat een aantal routines uit het model zeer bruikbaar zijn. Er is nog wel veel werk te verrichten om het model breed toepasbaar te maken voor potplanten. Daarnaast is het belangrijk dat er een mogelijkheid wordt gecreëerd om de simulatieresultaten te analyseren en vergelijkingen te maken met experimentele meetresultaten. Verder moet er een geavanceerde gids worden opgenomen die de gebruiker helpt bij complexe taken zoals parameterisatie. Dit onderdeel van de user interface is misschien wel het belangrijkste van het hele model om te voorkomen dat iedere gebruiker zijn eigen theorie gaat ontwikkelen. De Wit merkte al in 1970 het volgende op “It will often be found that the results obtained with experimenting with the model and the actual system do not agree. In that case, the model may be adjusted such that a better agreement is obtained. Since there are many parameters and many equations involved this is not difficult. However, it is a disastrous way of working because the model degenerates then from an explanatory model in a demonstrative model which cannot be used anymore for extrapolation, and the technique reduces into the most cumbersome and subjective technique of curve fitting that can be imagined.”



Figuur 1 Schema van het GECROS model (Yin, 2005)

3.2.2 Optimalisatie van de balans tussen sink en source

Voor het GrowSense project is gebruik gemaakt van een vereenvoudigde versie van het GECROS model met aandacht voor de fysiologische response van 2 basisgroepen: sink en source processen.



Figuur 2 Vereenvoudigde versie van het GECROS model als basis voor GrowSense

De productiviteit van elk (tuinbouw)gewas wordt bepaald door de snelheid van ontwikkelingsprocessen enerzijds en de assimilatie van koolzuur anderzijds. Ontwikkelingsprocessen zoals bladafplitsing, bloei-inductie en strekking van cellen in bloemen en vruchten zijn meer temperatuurafhankelijk dan processen die samenhangen met de assimilatie van koolzuur. In het vervolg worden de ontwikkelingsprocessen, waaraan gekoppeld de verdeling van assimilaten, sinks genoemd. De koolzuurassimilatieprocessen die impliciet zeer sterk afhankelijk zijn van het licht, worden source genoemd. De opgave waar het GrowSense project voor staat is een protocol waarmee voor verschillende potplanten de balans tussen sink en source kan worden gemeten. De uitkomsten van metingen dienen als calibratie voor de rekenregels in het model voor het specifieke gewas. Het model dient dus in eerste instantie generiek te zijn voor alle potplanten. Specifieke parameters voor een bepaalde soort mbt sink en source processen worden via de metingen aangeleverd. Voor het definiëren en kwantificeren van modelrelaties zijn twee soorten proeven nuttig:

- 1) Proeven, doorgaans onder geconditioneerde omstandigheden, gericht op het ophelderen van mechanismen. Die mechanismen vormen vervolgens het relatiediagram van het model.
- 2) Kasproeven gericht op het kwantificeren van de modelrelaties. Vooral proeven waarin de meeste of alle modelrelaties tegelijkertijd worden gekwantificeerd zijn nuttig om “bij elkaar passende” parameterschattingen te genereren. Dit zou niet nodig zijn voor universeel geldige causale relaties. Die bestaan echter niet in de gewasfysiologie.

3.2.3 Simulatie Source

Een belangrijke doelstelling van het project is het vaststellen van snelheidsbepalende factoren voor de instroom van etheen in het blad en de toxische werking ervan op onderdelen van het fotosynthese proces als functie van de concentratie, cq gradiënt. Interacties met licht zijn van essentieel belang. Op een hoger integratieniveau zijn de consequenties te vertalen in productiviteit van de plant (LUE).

Gedurende de afgelopen jaren hebben kwantitatieve modellen van CO₂-fixatie en fotorespiratie bijgedragen tot het inzicht dat de netto CO₂-fixatie moet worden bestudeerd in samenhang met de flux van reducerende equivalenten door de electron-transport keten (energie) en de metabole activiteit van de Calvin cyclus. Het model van Farquhar en Von Caemmerer is daarvan een goed voorbeeld. Dit model is gebaseerd op de biochemie van de fotosynthese, in het bijzonder de werking van Rubisco. Er is inmiddels een concept model geconstrueerd waarin de meeste routes voor CO₂, temperatuur en licht zijn opgenomen. Dit model is voor een aantal planten gevalideerd (Plant Cell & Environment Yin van Oijen and Schapendonk, 2004). Voor de potplanten in het GrowSense project dienen nog calibraties gemaakt te worden.

3.2.4 Simulatie sinks

Inzicht krijgen in de genetische en fysiologische processen die de ontwikkeling van meristemen sturen en de relatie van deze ontwikkeling met de daaruit voortvloeiende architectuur van de plant en haar organen is het moeilijkste deel van het GrowSense project. Voor potplanten is dit aspect echter zeer belangrijk. Het bovenbeschreven deel van

het model (i.e. het source gedeelte) is redelijk eenvoudig vergeleken met de dynamiek van de sinks. Of zoals Evans aangeeft: “Crop growth models should, as far as possible, be explanatory models, built on our understanding and trying to extend it. With crop photosynthesis that is possible, but not, as we have just seen, for the allocation process. Given our article of faith that understanding is the surest way to impact, the fact that plant breeders have greatly modified allocation which we do not understand, but not assimilation which we do, is cause for chagrin.” L.T. Evans, 1990.

Zowel endogene als externe factoren die van invloed zijn op deze ontwikkeling dienen beschreven te worden. Een intrinsiek probleem bij de toenemende kennis over genetische en fysiologische processen is dat het steeds moeilijker wordt de consequenties te overzien van al de mogelijke interacties. Twee aandachtsgebieden zijn te onderscheiden binnen GrowSense: genetica (soortkeuze) en fysiologie. Deze aandachtsgebieden worden vanuit verschillende aggregatieniveaus bewerkt en de kennis wordt vervolgens geïntegreerd.

A Fysiologie. Vaststellen van fysiologische determinanten van groei en ontwikkeling. Invloed van interne en externe factoren op parameters als grootte, celorganisatie, ontstaan van primordia etc. Invloed van sink-source/externe factoren (fotomorfogenese) op meristeemontwikkeling. Een tijdelijke noodoplossing bij het (gedeeltelijk) vervangen van ‘DVS’ (ontwikkelingsafhankelijke statistische assimilatenverdeling) door source-sink relaties kan zijn de assimilaten- of stikstof-allocatie door optimalisatie-algoritmen te laten bepalen. Die zijn weliswaar evenmin mechanistisch (slechts een beetje), maar geven wel een dynamische respons op veranderende omstandigheden (voorbeelden: functioneel evenwicht en N-profiel in het blad). Men moet zich wel realiseren dat plantfysiologische processen grotendeels niet optimaal verlopen (neutrale selectie, teelt van gewassen buiten hun evolutiegebied, veredeling op deel van de planteigenschappen, etc.). N.B. Een plant kan zeer wel optimaal functioneren binnen bepaalde constraints.

B Het vervangen van empirische assimilatendistributiepatronen in SUCROS door source-sink relaties in GrowSense kan vrij eenvoudig zijn als een duidelijke hiërarchie van sink sterkten bestaat. Bij de keuze van de potplant is het verstandig om hiermee rekening te houden. Zijn er potplanten waar voldoende onderzoek aan is gedaan om bloeiinductie en uitgroei te beschrijven, in afhankelijkheid van temperatuur, daglengte etc.

C Meer aansluiting van gewasgroeimodellering bij andere theoretische disciplines zou wenselijk zijn. In de dynamische systeemtheorie, en in afgeleide toegepaste vakgebieden als de controletheorie, zijn veel modellen geanalyseerd die in het GrowSense model kunnen worden opgenomen. Eenvoudige modellen uit de ecologie kunnen ook gebruikt worden. Sterke punten van de theoretische ecologie zijn: 1 ruimtelijke processen; 2 populatiemodellen (individual-based en continu); 3 optimalisatie-algoritmen; 4 discrete-time events. De ecologische populatiemodellen kunnen direct toegepast worden op problemen van orgaan-aantalsdynamiek in de gewaskunde. Ook de optimalisatie-algoritmen (Givnish, 1986) kunnen worden benut, met name bij de modellering van assimilatendistributie. Dit voert echter verder dan de doelstelling van GrowSense, maar er zou goed aan gedaan worden om hier alvast rekening mee te houden. Voorlopig kan er gewerkt worden met de aanname dat assimilatendistributie geen onderwerp van studie maar slechts modelonderdeel is en dat de mechanismen van assimilatendistributie (source-sink relaties) nog

niet zijn opgehelderd. Aarzeling bij het detailleren van modelsubsystemen is terecht zolang geen goede mechanistische concepten gegeven zijn.

3.3 Detaillering van GrowSense: deelprocessen

Hieronder een aantal aspecten van de groei als voorbeeld waarbinnen in het GrowSense project nadruk kan worden gelegd.

3.3.1 Plantenvoeding

De belangrijkste voedingstof in de plant is stikstof. Er zijn veel modelstudies die de relatie tussen plantenvoeding en groei weergegeven. De stappen gaan vanaf het chloroplastniveau via blad- en plant-morfologie naar de architectuur van het hele gewas. De verdeling van stikstof over diverse fracties van het fotosynthese apparaat zijn cruciaal voor de optimalisatie van de fotosynthese bij verschillende lichtniveaus en ontwikkelingsstadia. Bladeren op verschillende hoogtes in het gewas verschillen meer in de maximaal haalbare fotosynthese capaciteit dan in de efficiëntie van de fotosynthese. Dit duidt erop dat de variatie voor Rubisco (het koolzuur bindende eiwit in de chloroplast) groter is dan de variatie voor de componenten van de electrontransportketen, die verantwoordelijk zijn voor de omzetting van zonne-energie in chemische energie.

In het kader van een optimaliseringstudie voor stikstofverdeling in de plant kunnen in het GrowSense project bepaald worden in welke mate veranderingen in het Rubisco profiel invloed hadden op de groei en opbrengst van de specifieke plant. In een aantal simulaties kan bij hoge en lage lichtintensiteit en hoge en lage stikstofvoorziening van de plant de opbrengst worden vergeleken met metingen. De gewasgroei en opbrengst werden gesimuleerd voor drie verschillende Rubisco profielen: 1 een uniforme verdeling over alle bladeren, 2 een leeftijdsafhankelijke verdeling waarbij het Rubisco gehalte afneemt met de geobserveerde maximale fotosynthesecapaciteit in de bladeren en 3 een lichtafhankelijke verdeling waarbij Rubisco verdeeld is volgens de lichtverdeling binnen het gewas.

3.3.2 Effecten van stress

Detectie van geaccumuleerde stress in planten is belangrijk om tijdig maatregelen te kunnen nemen om de negatieve effecten van stress op de groei en ontwikkeling van kasgewassen tegen te gaan. De balans tussen groei en de hoeveelheid straling die door de plant wordt geabsorbeerd dient in evenwicht te zijn. De plant kan dit realiseren door middel van regulering van de fotosynthese en de aanmaak van pigmenten die de plant beschermen als er teveel energie door het blad wordt geabsorbeerd (oxidatieve stress). De temperatuur waarbij de planten groeien bepaalt voor een groot deel de hoeveelheid lichtenergie die de plant kan verwerken (sink activiteit). Wisselingen in temperatuur en licht leiden tot complexe reguleringen die erop gericht zijn om de balans tussen vraag en aanbod in evenwicht te brengen. Met behulp van fluorescentie parameters wordt geprobeerd om een vinger achter die regulering te krijgen.

De aanmaak van pigmenten die de plant beschermen tegen oxidatieve stress met behulp van spectroscopische meetmethoden. Allerlei stressfactoren leiden tot een sterke afname

van de efficiëntie bij oplopende lichtintensiteiten. Voor de tuinbouw kunnen nutriëntentekort en of vochtgebrek factoren zijn die de efficiëntie verlagen. Overigens moet hier niet te zwaar aan getild worden omdat bij potplanten de groei meestal niet primair door de fotosynthese maar door andere processen wordt begrensd. De fluorescentie quenching kan wel een indicatie geven over de mate waarin sink processen zijn geremd. Maar dat neemt niet weg dat bijbelichting onder die omstandigheden weinig effectief is.

3.3.3 Lange en korte termijn aanpassingen van de plant aan temperatuurswisseling.

Een plotselinge verhoging van de temperatuur van 17°C naar 21°C veroorzaakt bij tomaat een onmiddellijke toename van de verdamping terwijl tegelijkertijd de fotosynthese langzaam begint te dalen. De afname van de fotosynthese veroorzaakt een afname van de groei. Echter op een termijn van weken blijken de planten bij de hogere temperatuur, ondanks een lagere fotosynthese, toch harder te zijn gaan groeien, doordat de fotosynthese binnen 1 tot 3 dagen na de aanvankelijke daling weer is toegenomen. Bovendien is de vorming van nieuw bladoppervlak bij de hogere temperatuur versneld waardoor de lichtonderschepping is toegenomen. Hieruit blijkt dus dat regeling van het kasklimaat op basis van sensorinformatie pas zin heeft als voldoende rekening wordt gehouden met alle schakels in de keten van fotosynthese tot productvorming en voldoende bekend is hoe de plant zich op langere termijn aan veranderingen van omgevingsfactoren aanpast.

3.3.4 Plantdichtheid

In de eerste groeifase groeien de planten exponentieel. Dit betekent dat een hogere fotosynthese rente op rente oplevert. Nemen we als fictief voorbeeld de opkweek van komkommerplanten in de maand december. Bij een plantgewicht van 50 mg en een natuurlijke daglichtsom van 2.5 Mol is de relatieve groeisnelheid 0.15 g/g. Bijbelichting gedurende 16 uur verdubbelt de netto assimilatie snelheid. Dit betekent niet dat de relatieve groeisnelheid zal verdubbelen. Bij hogere lichtintensiteiten wordt het blad namelijk wat dikker waardoor het “rente op rente” effect van de bladgroei negatief wordt beïnvloed. De relatieve groeisnelheid zal toenemen van 0.15 g/g tot 0.22 g/g. De winst voor de teler is naar keuze een verlenging van de productiefase door een snellere gewassluiting, of in het geval van opkweekbedrijven een kortere periode voor de opkweek van uitgangsmateriaal.

De verkorting van de opkweek periode kan worden geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van enkele basis principes uit de klassieke groeianalyse en een daarop gebaseerd simulatiemodel. Uitgangsmateriaal zijn zaailingen van komkommer geplant met een dichtheid van 14 planten/m². Het materiaal wordt geoogst op het tijdstip dat de planten elkaar sterk beschaduwen. Het is opvallend dat het voor het winstpercentage niet uitmaakt bij welke plantdichtheid wordt geteeld. Voor de absolute winst in de snelheid van gewassluiting is de plantdichtheid echter wel van belang. De economische afweging is per bedrijfstak verschillend en de gepresenteerde berekeningen zouden aangevuld moeten worden met specifieke gewasafhankelijke opbrengstfactoren.

3.3.5 Bij welke instraling is bijbelichten niet meer rendabel?

Om deze vraag te beantwoorden is enig inzicht vereist in de regulering van de fotosynthese. De basisprocessen van de fotosynthese worden op een aantal niveaus gereguleerd. Voor de praktijk betekent dit dat de efficiëntie van de fotosynthese afneemt bij hogere lichtintensiteiten. De efficiëntie neemt af doordat de geabsorbeerde lichtenergie niet wordt benut voor de aanmaak van assimilaten maar weer verloren gaat als warmte. De afname van de efficiëntie is er de oorzaak van dat de licht-respons curve de vorm heeft van een asymptotische exponentiele verzadigingsfunctie. Bij lage lichtintensiteiten is het rendement van bijbelichting daardoor 10 - 15 maal hoger dan bij hoge lichtintensiteiten. De manier waarop de efficiëntie daalt bij hogere lichtintensiteiten wordt zowel erfelijk bepaald als door de opkweekcondities. Bij schaduwplanten, waaronder de meeste potplanten neemt de efficiëntie al zeer snel af terwijl bij zonneplanten het traject veel langer doorloopt. Ook de opkweekcondities spelen een belangrijke rol. Dit is een facet dat vaak over het hoofd wordt gezien. Bijbelichting leidt tot een hoger niveau waarop de fotosynthese verzadigd is. Dit betekent dat sterke wisselingen van de natuurlijke lichtintensiteit een groot voordeel opleveren voor de planten die bijbelicht zijn omdat ze veel meer profiteren van de perioden met hoog licht.

Het effect van bijbelichting wordt beïnvloed door de temperatuur. Dit wordt veroorzaakt door de toename van de ademhalingsprocessen bij een hogere temperatuur. De efficiëntie van bijbelichting voor de fotosynthese zal in principe afnemen bij hogere temperatuur, tenminste bij C3 planten. Dit negatieve aspect wordt tegengegaan door de positieve werking van temperatuur op het specifieke bladgewicht (SLA) en daardoor op de relatieve groeisnelheid (RGR). Door deze compensatie zal het temperatuureffect op de bijbelichting vrij neutraal zijn.

CO₂ dosering stimuleert de fotosynthese en de groei. Een verdubbeling van de CO₂ concentratie geeft een productieverhoging van 20 tot 40%. Het CO₂ effect wordt in het algemeen versterkt door hoge lichtintensiteit. Dit betekent dat bijbelichtingseffecten, in geringe mate, worden vergroot door een goede CO₂-dosering. Deze dosering is uiteraard gewasspecifiek.

3.4 GrowSense technische leidraad voor modelconstructie

Moderne hulpmiddelen bij constructie en evaluatie van modellen omvatten ook het gebruik van moderne computertalen. Programma's als Mathematica vergemakkelijken a) het vinden van analytische oplossingen (als ze bestaan), b) de grafische (3D, kleur) en akoestische (wanneer is dat echt nuttig?) output van je model, c) het genereren van simulatie-"films" in plaats van tabellen en losse grafieken. Andere programmeermethodes dan de gangbare procedurele methode (bijvoorbeeld object-oriented simulation) met een daarvoor geschikte taal als Simula of Delphi, kunnen bijvoorbeeld nuttig zijn bij het simuleren van aantalsdynamiek van organen (Sequeira et al, 1991)

A Pas dimensie-analyse toe en vermeld dimensies in het modelprogramma. Zie Schapendonk & Spitters, 1990, Mazumdar (1989).

B Pas alleen modellen toe, waarvan je elke regel begrijpt en accepteert. Dus als je vlot aan de slag wilt, kies dan een eenvoudig model.

C Werk niet met expliciete time-delays (of met setpoints voor het bereiken van een bepaalde variabele-waarde op een gespecificeerde toekomstige dag), maar werk uitsluitend met functies van actuele variabele-waarden. Planten kunnen niet terugkijken noch de toekomst voorspellen.

D Maak specifieke modellen voor specifieke vragen. Het streven naar een systematische (statistische) methode van modelbouw kan overdreven zijn. Er dient ruimte te blijven voor gevoelsmatige keuzen van modelcomplexiteit en afhankelijkheidsrelaties (ruimte voor aanpassing en calibratie).

E Maak het model zo mechanistisch mogelijk, maar ga daarbij precies één niveau onder het te verklaren niveau. Ga niet te diep. Dus niet fotosynthese + ademhaling naar productie van het hele gewas maar naar productie per eenheid blad. Ook niet temperatuursom/DVS-gestuurde assimilatenallocatie maar source-sink relaties of de noodoplossing van optimalisatie-algoritmen.

F Bij modelbouw kun je niet helemaal consequent zijn. Onnodig detail toevoegen is fout, maar je model vereenvoudigen tot er slechts één regressievergelijking (groeicurve) overblijft is ook onzin. Leidraad kan zijn: zoveel mogelijk vereenvoudigen, onder handhaving van precies twee systeem-integratieniveaus. Discussie zal daarbij blijven over de vraag of de LUE/lichtonduerscheppingsbenadering van groei en opbrengstvorming nu één of twee integratieniveaus omvat, en idem dito voor de expliciete modellering van fotosynthese en ademhaling. De opmerking van Penning de Vries & Spitters (1991) dat SUCROS twee integratieniveaus onder de opbrengst zit en LINTUL slechts één, is misleidend: SUCROS zit maar één niveau diep voor de LAI, de DVS en de assimilatendistributie. Begingroei van blad zit zelfs op niveau nul (= input).

G In de gewasgroeimodellering zeggen we vaak dat mechanistische modellen althans potentiëel extrapolierend gebruikt kunnen worden, in tegenstelling tot statistische modellen. En dat we, als we er maar meer mechanistische kennis aan blijven toevoegen die extrapoleerbaarheid verder zal toenemen. Met andere woorden we stellen dat “generality” en “simplicity” tegengestelde criteria zijn bij modelbouw. Deze opvatting is echter onjuist, de extrapoleerbaarheid blijkt af te nemen met de complexiteit (matige oogstvoorspellingen). De ecologen hadden dat al langer door.

3.5 GrowSense en GrowWatch

GrowSense is een koppeling van sensoren aan intelligente software voor bepaling van groei en diagnose van stress. Met het GrowSense-model wordt de uiteindelijke fotosynthese in gram droge stof per m² blad (= geavanceerde assimilatie) berekend en wordt een diagnose voor stress (= NPQ) afgegeven. In het model wordt ook rekening gehouden met de invloed van licht, CO₂ en de VPD op de uiteindelijke fotosynthese. Deze parameters zijn gewasafhankelijk en moeten voor ieder gewas dus apart bepaald worden. Binnen het

project is voor de pilotgewassen potanthurium, Kalanchoe en Spathiphyllum de parameters bepaald.

De sensoren die voor het GrowSense meetsysteem minimaal benodigd zijn:

- Ruimte temperatuur meter
- relatieve luchtvochtigheid (RV) meter
- CO₂ meter
- Plantivity meter met ingebouwde PAR sensor
- 2 PAR sensoren
- Bladtemperatuur meter
-

Optioneel kunnen andere sensoren worden gebruikt voor het leggen van nieuwe verbanden:

- Wet meter. Deze bestaat uit:
- Worteltemperatuur meter
- EC meter
- Vochtgehalte meter substraat
- Sapstroom meter
- Stengeldikte meter
- Bladdikte meter (vooral interessant bij CAM planten)

Het geheel aan meetinstrumenten, het meetsysteem, wordt Growlab genoemd. Om de gegevens goed te interpreteren is het van belang dat de meetgegevens on-line bekeken kunnen worden. Het on-line bekijken van de gegevens verloopt via het softwarepakket GrowWatch.

3.6 Relevante plantsensoren voor project GrowSense

Ruimtetemperatuur en RV meetbox

De relatieve luchtvochtigheid en ruimtetemperatuur sensor is een elektronische sensor. De sensoren worden in een box geplaatst die voorzien is van een ventilator. De ventilator zorgt voor een constante luchtstroom in de box. Temperatuur is nodig voor het bepalen van verdampingsdruk verschil (of enthalpie) van omgeving en plant.

Parameters: temperatuur in graden Celsius en relatieve luchtvochtigheid in %.



Figuur 3 Meetbox kastemperatuur en RV

PAR sensor

PAR (Photosynthetic Active Radiation) is de hoeveelheid “groei” licht die op een bepaald oppervlakte van het gewas valt. Het groeilicht wordt door een gewas gebruikt voor de fotosynthese. De PAR licht sensor kan meer informatie geven over de fotosynthese van het gewas. Bij te weinig PAR licht kan er onvoldoende fotosynthese plaatsvinden, waardoor de groei van het gewas stilstaat. Teveel licht is ook niet goed en kan leiden tot verbranding van het gewas. De PAR sensor wordt in de kas geplaatst bij het gewas. Zo is er een juiste registratie van licht dat het gewas ook ontvangt. PAR is onontbeerlijk daar het licht dat de plant ontvangt in veel gevallen de beperkende factor is. Dientengevolge is het raadzaam om deze meter in duplo te installeren. Wanneer er onverhoopte schaduwwerkingen optreden is er altijd een backup.

Parameter: PAR licht in micro $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$.



Figuur 4 PAR licht sensor



Figuur 5 CO₂ opnemer

CO₂ sensor

De elektronische CO₂ sensor maakt het mogelijk om CO₂ te meten tussen het gewas. Dikwijls hebben bedrijven wel een algemene CO₂ meting, maar is er weinig zicht in de CO₂ die bij de plant aanwezig is en hoeveel CO₂ is er nodig om het fotosynthese proces in evenwicht te houden. De CO₂ meter is onontbeerlijk daar bij een tekort aan CO₂ de basis voor de aanmaak van de suikers ontbreekt.

Parameter: CO₂ gehalte in ppm (parts per million).

De infrarood temperatuur sensor

De infrarood temperatuur sensor kan de blad- of planttemperatuur meten. De sensor kan op een blad of vrucht worden gericht of in een hoek van maximaal 7 m² meten, zodat er een gelijkmatige meting van de temperatuur plaatsvindt. De sensor wordt in een metalen behuizing geleverd en is spatwaterdicht. De sensor wordt op een beugel met draaibare kop gemonteerd. De planttemperatuur bepaalt o.a. de dampdruk in de plant. Om het vochtdeficit (VPD) tussen plant en kas te berekenen is dit meetinstrument onmisbaar.

Parameter: Planttemperatuur in graden Celcius.



Figuur 6 Infra Rood temperatuursensor (IR camera / Planttemperatuur meter)

Plantvitaliteits meter of plantivitemeter

De plantvitaliteitsmeter of plantivity benadert de fotosynthese van het gewas. Deze meting wordt vertaald in droge stof groei per vierkante meter. Met de meter kan een registratie plaatsvinden over hoe het gewas zich ontwikkelt binnen de groeiomstandigheden. Het kan uitstekend fungeren als controle instrument voor modellen waarbij gebruik gemaakt wordt van voorspellingen op basis van omgevingsfactoren.

Parameter: fotosynthese in gram droge stof/m² blad

De fotosynthese wordt indirect gemeten met de fluorescentiemeter. Per instelbare tijdseenheid wordt een lichtbundel op het blad geworpen. De reflectie (fluorescentie) van het licht is een maat voor de fotosynthese. Hoe meer reflectie, hoe minder de relatieve assimilatie. Als er veel licht is, wordt er meestal veel gereflecteerd, maar kan de absolute fotosynthese toch redelijk hoog zijn. De hoeveelheid licht is dus belangrijk. Deze wordt door de plantivitemeter zelf gemeten. Dit gebeurt door de hoeveelheid licht die op een wit meetvlak valt, die op de bladhouder is gemonteerd, te registreren. Deze lichthoeveelheid wordt weergegeven in PAR Pam ($\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$). De fluorescentie wordt gebruikt als input voor de softsensor binnen het GrowSensemodel.



Figuur 7 Plantivity meter

Wet sensor

De wet sensor is een instrument dat inzicht geeft in de waterhuishouding bij de wortels van het gewas. De wet sensor wordt in de grond gestoken en meet via elektronische signalen drie relevante gegevens:

- EC,
- vochtgehalte (0-100%) en
- temperatuur.

De wet sensor wordt softwarematig gekalibreerd en kan daarom in vele bodem- en substraat-soorten worden geplaatst zoals steenwol, veengrond, volle grond, potgrond of kokos.

Met betrekking tot de ontwikkeling van modellen is het meten van het vochtgehalte en de EC van belang om verbanden te achterhalen met betrekking tot zowel sink als source. De beschikbaarheid en de mate waarin water en voeding aanwezig zijn kan met deze sensor worden gemeten. Met betrekking tot de plantontwikkeling en de verdeling van assimilaten is voornamelijk de pottemperatuur van belang. Veranderingen in pottemperatuur kunnen veranderingen in plantopbouw bewerkstellingen.



Figuur 8 WET-sensor

3.7 Berekende waarden vanuit de sensormetingen

Naast het puur meten van factoren door de sensoren, worden er ook diverse berekeningen met de gemeten waarden worden gemaakt.

Met de meting van de kastemperatuur en RV:

- De dauwpuntstemperatuur
Als de kastemperatuur en RV bekend zijn, kan berekend worden bij welke temperatuur de RV 100% zal zijn, dus waarbij het vocht in de lucht gaat condenseren. Deze parameter wordt vooral interessant als ook de planttemperatuur bekend is. Indien de planttemperatuur onder de dauwpuntstemperatuur komt, dan condenseert er vocht op het gewas. Dit geeft grote risico's op aantasting door Japanse Roest of *Botrytis*.

Met de planttemperatuurmeter:

- De VPD (vapour pressure deficit, of dampdrukverschil) eenheid: kPa.
De VPD geeft het drukverschil tussen de lucht in de huidmondjes en de lucht rondom het blad weer. Hoe hoger dit verschil, hoe hoger de verdampingscapaciteit is. De planttemperatuur bepaald de dampdruk in de huidmondjes, waarbij de RV in de huidmondjes op 100% wordt gesteld. De kasttemperatuur en RV van de meetbox in de growlab bepalen de dampdruk van de lucht rondom het blad. Veelal wordt een streefwaarde aangehouden tussen de 0,5 en 1,2 kPa. Onder de 0,5 kan de plant bijna niet verdampen. Boven de 1,2 gaat de verdamping sneller dan de plant vocht kan opnemen. De plant zal ter bescherming zijn huidmondjes gaan sluiten, waardoor er minder CO₂ kan worden opgenomen.

Met de plantivitemeter:

- Fm Maximale fluorescentie in de nacht (nulmeting, bladkwaliteit).
In jong blad neemt de Fm toe. Tijdens de meetperiode moet Fm constant blijven. Bij afname Fm (>10%) moet de Plantivity verzet worden naar een nieuw blad. Dit moet minimaal 1 maal per week plaats vinden aan het einde van de dag.
- Fm' Maximale fluorescentie overdag. Dit is dezelfde lijn als de Fm lijn.
- F0 Actuele fluorescentie. De plant kan dit licht niet omzetten in assimilaten = suikers.
- Yield (= Rendement) (Fm-F0)/Fm
Bij overmaat aan licht gaat het rendement naar beneden door een toename van F0, echter de assimilatie kan toch omhoog gaan. Dit komt doordat de hoeveelheid benut licht toeneemt (zie begrip "Benut licht"). Rendement 's nachts ligt tussen de 0,7 en 0,8. Overdag neemt het rendement af omdat het licht toeneemt. Een streefwaarde voor overdag is moeilijk te geven omdat dit afhankelijk is van de hoeveelheid PAR.
- Benut licht ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) = Gemiddelde PAR*Yield
- NPQ Non Photochemical Quenching (lichtbelasting of plantenstress)
= (Fm-Fm')/Fm'
= energie welke gebruikt wordt voor niet fotosynthetisch gerelateerde processen.
Richtlijn voor NPQ is maximaal 1 a 1,2. Uitschieters zijn niet erg maar niet continue op 2 houden. Bij een NPQ van 1 heeft de plant 50% van z'n fotosystemen uitgeschakeld omdat hij het opgenomen licht niet om kan zetten in groei. Wordt de NPQ hoger dan 1 dan schakelt de plant steeds meer fotosystemen uit. Dit doet hij om zichzelf te beschermen. De fotosystemen die hij wel gebruikt moeten steeds harder gaan werken. Het is te vergelijken met een toerenteller. Boven de 1 begint het rode gebied. Een poosje kan je hierin rijden maar continue in het rood rijden gaat ten koste van de levensduur van de motor.
- Geavanceerde assimilatie
= Berekende opgenomen $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ blad.seconde
De berekende assimilatie is gebaseerd op een model waarin het rendement van de fotosynthese, planttemperatuur, CO₂ concentratie, hoeveelheid PAR en VPD zit. 10 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ blad.seconde levert per uur 1 gram droge stof per vierkante meter blad. Deze factor van 10 is een gemiddelde voor de gewassen die in de kas geteeld worden. Voor bijvoorbeeld cactussen is dit getal veel hoger. Globaal bestaat elke gram droge stof uit 0.456 gram koolstof.

4 GrowSense model

4.1 Algemeen

GrowSense is een koppeling van sensoren aan intelligente software voor bepaling van groei en diagnose van stress. Het GrowSense project heeft een meetmethode opgeleverd waarmee niet alleen continu het verloop van belangrijke omgevingsfactoren in de kas kan worden geregistreerd maar die ook het unicum biedt om de plant zelf te monitoren via de meting van bladtemperatuur en bladfotosynthese. De methode is ontwikkeld voor potplanten en bestaat uit hardware (de sensoren) en programmatuur. De programmatuur (softsensoren) combineert de uitvoersignalen van de sensoren met fundamentele fysiologische inzichten. Deze inzichten en kennis zijn gebaseerd op kennis van fotosynthese, fluorescentie en fysische processen die de afgelopen 15 jaar zijn opgebouwd. Toch is de GrowSense meetmethode de eerste applicatie waarin over langere termijn continu informatie wordt verzameld over de fotosynthese en de stressgevoeligheid van een gewas. Dit is mogelijk door de beschikbaarheid van robuuste sensoren en de verbeterde technische mogelijkheden om software snel in meetroutines te implementeren en te toetsen.

De sensoren die voor het GrowSense meetsysteem minimaal benodigd zijn, zijn reeds in paragraaf 3.5 beschreven. Naast de hiervoor beschreven hardware is GrowSense voorzien in een aantal softsensoren, bestaande uit rekenregels die de uitvoer van de hardware aanvullen en vertalen naar cijfers over assimilatie en stressgevoeligheid van het meetblad.

4.2 Achtergronden van het onderzoek

Groeibelemmingen kunnen veroorzaakt worden door diverse factoren zoals een tekort aan nutriënten, droogte, hitte, koude, zoutschade, ziekte, luchtverontreiniging enz. In de meeste gevallen is er een direct effect van deze stressfactoren op bladtemperatuur en assimilatiesnelheid. Metingen aan bladtemperatuur kunnen dan ook indirect gebruikt worden om schattingen van bladverdamping en huidmondjesopening te maken. Bladtemperatuur kan bijvoorbeeld met behulp van infrarood thermometers gemeten worden, waarvan de kosten de laatste jaren sterk verlaagd zijn.

Om fotosynthesekarakteristieken te bepalen zijn verschillende technieken beschikbaar. CO₂-opname kan direct gemeten worden met behulp van gasanalyse. Daarnaast zijn er spectroscopische technieken die de CO₂-opname niet direct meten maar de vastlegging van lichtenergie in reducerend vermogen in de elektronentransport processen, voorafgaand aan de omzetting van CO₂ naar suikers. Deze spectroscopische technieken zijn als sensor beter geschikt dan gas uitwisselingstechnieken, want ze zijn geschikt voor noninvasieve on-line metingen en technisch eenvoudiger te bouwen. Voor gas uitwisselingsmetingen is het nodig het gewas in te sluiten in een ruimte om de CO₂-opname te kunnen meten, waardoor het gewas beïnvloed wordt door verminderde instraling en veranderde luchtstroom en temperatuur rond het gewas. Bij spectroscopische technieken wordt gebruikt gemaakt van uitgezonden meetlichtbundels en worden meetsignalen opgevangen met specifieke detectoren. Hierdoor wordt het gewas nauwelijks beïnvloed. De actuele fotosynthese en de

capaciteit voor fotosynthese zijn twee belangrijke fotosynthesekarakteristieken. Resultaten met de Plantivity tonen aan dat chlorofyl fluorescentie een betrouwbare en nauwkeurige schatting geeft van de actuele fotosynthese bij verschillende gewassen.

4.3 Interactieve besturingssystemen door koppeling van model en sensor

De waarde van sensoren is beperkt als er niet een goede vertaling gemaakt kan worden van wat een meetwaarde nou precies betekent en welke consequenties het heeft voor het eindproduct. Verder is op basis van uitsluitend meten nog niet duidelijk of en zo ja, welke bijsturing nodig is. Zeker ten aanzien van metingen aan wateropname en fotosynthese geldt dat ze door verschillende klimaatfactoren gelijktijdig beïnvloed worden waardoor interpretatie van de meetwaarde extra lastig kan zijn. Bij dit soort metingen is het belangrijk dat de meetwaarden steeds vergeleken kunnen worden met een door een simulatiemodel (theoretisch) berekende waarde die bij een bepaald klimaat hoort. Op deze manier kan heel snel inzichtelijk worden dat de plant slechter functioneert dan theoretisch mogelijk is en dat er een actie nodig is. Een model kan helpen om de meetwaarde op waarde te schatten, de vertaling te maken wat het voor het eindproduct betekent en welke acties er ondernomen moeten worden.

Een model is in feite een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid en voor een aantal aspecten gaat het uit van een gemiddelde situatie. In de praktijk betekent dit dat een model in specifieke situaties af kan wijken van de werkelijkheid. Hierdoor worden de mogelijkheden voor toepassing van modellen bij procesbesturing enigszins beperkt. Metingen aan het gewas, al dan niet met sensoren, van cruciale parameters die in het model voorkomen, kunnen voor een fine-tuning van het model zorgen voor elke specifieke situatie. Hierdoor wordt de betrouwbaarheid van de modellen zeer sterk vergroot. Dit soort metingen kunnen 'fotosynthesesnelheid' betreffen maar ook 'aantal gezette vruchten'. Verder kunnen (on-line) metingen aan het gewas of registratie van oogstgegevens of plantparameters (bijvoorbeeld aantal gezette vruchten of aantal bladeren) gebruikt worden om het model zelflerend te maken. Dit wil zeggen dat het model automatisch aangepast wordt aan (leert van) afwijkingen tussen meting en berekeningen van de afgelopen periode. Tussen bedrijven blijken er gigantische productiever verschillen te bestaan, die consequent ieder jaar terugkomen. Enerzijds kan een plantmodel gebruikt worden om de oorzaak van deze verschillen op te sporen, anderzijds zal in een aantal gevallen het model bij het ene bedrijf de productie steeds overschatten, terwijl het bij het andere bedrijf de productie onderschat. Door terugkoppeling van langdurig geregistreerde oogstgegevens naar het model kan het model zelflerend gemaakt worden en kan een onder- of overschatting verholpen worden.

Kortom, zowel sensorwaarden als modelwaarden hebben hun beperkingen. Door sensorinformatie aan een plantmodel te koppelen kunnen deze beperkingen verholpen worden en ontstaat een krachtig hulpmiddel om in een kas te sturen op plantprocessen.

4.4 Technische rapportage GrowSense

De GrowSense softsensor is gebaseerd op fundamenteel fysiologische inzichten. Plant Dynamics BV heeft de kennis gecombineerd in de hierna beschreven meetmethode. Grow@Science heeft het modelgedeelte in de softsensor omgezet in een applicatie en heeft in de testfase de praktijkanalyses uitgevoerd in samenwerking met DLV Plant.

Een lange termijn optimalisatie binnen een teelt vraagt echter ook om een strategische optimalisatie, die vooral de grenzen zal bepalen waarbinnen de korte termijn optimalisatie effectief kan worden uitgeoefend. In dit stadium van het project wordt voorlopig alleen de korte termijn berekening van de effecten van omgevingsfactoren op fotosynthese en verdamping in technische termen weergegeven. De module is zodanig geconstrueerd dat in tweede instantie de strategische optimalisatie als een matrix over de korte termijn optimalisatie kan worden gelegd.

4.5 Sensoren

GrowSense berekent waarden voor de fotosynthese en verdamping van een gewas. De metingen leveren informatie over de bladtemperatuur, ruimtetemperatuur, RV, CO₂ concentratie, PAR-licht, Plantivity signalen en eventueel bladdikte metingen (alleen interessant voor CAM planten).

De berekeningen van de Plantivity worden in huidige instelling gebaseerd op 6 basismetingen:

1. Fluorescentie in het donker: Fo.
2. De maximale fluorescentie in het donker tijdens een verzadigde lichtpuls: Fm.
3. De fluorescentie in het licht: Fs (overigens is Fs hetzelfde signaal als Fo maar dan in het licht).
4. De maximale fluorescentie in het licht Fm' (hetzelfde signaal als Fm maar dan in het licht gemeten).
5. PAR gemeten met de Plantivity
6. PAR gemeten met een externe PAR sensor.

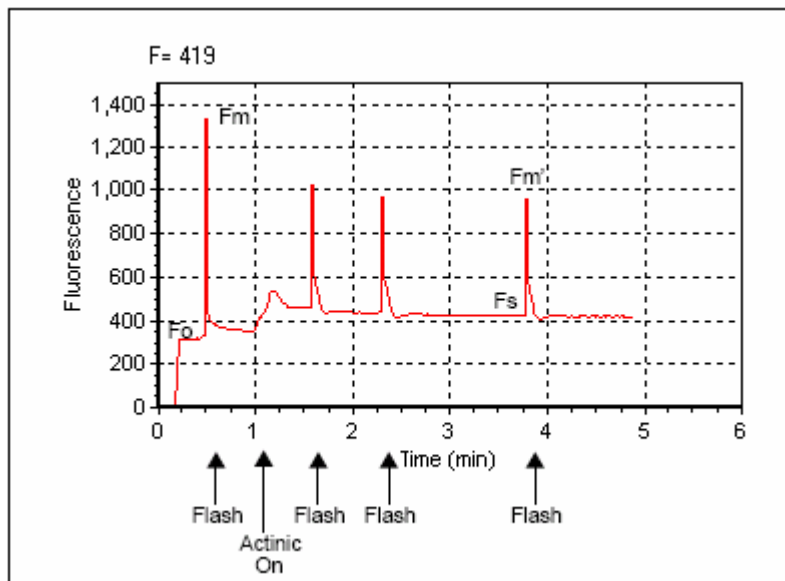
4.6 Softsensoren

Binnen GrowSense zijn softsensoren beschikbaar voor:

- berekening energieopslag = electronentransport (ETR)
- berekening huidmondjesgeleidbaarheid
- berekening VPD
- berekening verdamping
- berekening CO₂ assimilatie (Hoofdstuk 5)
- berekening stress (Hoofdstuk 6)

4.6.1 Electronentransport (ETR)

Snelheid van energievastlegging in de bladgroenkorrels op basis van 4 fluorescentie karakteristieken: F_o , F_m , F_s en F_m' . F_o en F_m worden 's nachts bepaald en F_s en F_m' in het licht. De meetfrequentie blijkt soms invloed te hebben op de resultaten. Als uitgangspunt wordt een frequentie van 20 - 30 minuten in het donker en 8-10 minuten in het licht aanbevolen.



Figuur 9 Snelheid van energievastlegging in de bladgroenkorrels

In het donker is de efficiëntie maximaal omdat alle reactiecentra in het donker 'leeg' zijn. De efficiëntie waarmee de reactiecentra door licht 'gevuuld' kunnen worden is dan maximaal en de fluorescentie minimaal. Door een intense lichtflits af te vuren op het blad worden alle reactiecentra 'gevuuld' en is de efficiëntie van het licht minimaal geworden. Onder die omstandigheden is de fluorescentie juist maximaal. De maximale efficiëntie van de fotosynthese wordt bepaald door de verhouding tussen de minimale en maximale waarden gegeven in de vergelijking:

$$P_{dark} = \frac{F_m - F_o}{F_m} = \frac{F_v}{F_m} \quad 1$$

In het licht neemt de efficiëntie van de fotosynthese af met toenemende lichtintensiteit. Door op soortgelijke manier als voor een donker situatie de verhouding tussen de minimale fluorescentie en de maximale fluorescentie te bepalen kan de efficiëntie van de fotosynthese bij elke lichtintensiteit berekend worden:

$$P_{light} = \frac{F_m' - F_s}{F_m'} = \frac{\Delta F}{F_m'} = \Phi_{PSII} \quad 2$$

Vervolgens kan de berekende efficiëntie vertaald worden naar het aantal elektronen dat in de bladgroenkorrels door het licht wordt geactiveerd en als een soort acculader gaat functioneren om de energie op te slaan voor de aanmaak van suikers uit CO₂.

De vergelijking voor de berekening van het elektronentransport is:

$$ETR = \left(\frac{F_m' - F_s}{F_m'} \right) f I \alpha_{leaf} \quad 3$$

I = de lichtintensiteit, f = gewas specifieke ijkfactor, α_{leaf} = de absorptie coëfficiënt van het blad (0,74 bij Anthurium; 0,85 bij Spathiphyllum en 0,78 bij Kalanchoe). De specifieke ijk factor is afhankelijk van bepaalde omgevingsfactoren en de mate van stress waaraan de planten zijn onderworpen.

De berekening van ETR is de basis van de berekening van de fotosynthese en onder optimale CO₂ voorziening is er zelfs een lineair verband gevonden tussen ETR en de CO₂ opname gemeten met de LICOR fotosynthesemeter. Omdat de praktijksituatie meestal verre van optimaal is, was een correctie van de fotosynthese nadrukkelijk gewenst, met name voor situaties dat een lage CO₂ concentratie voor handen was of voor de situatie dat de huidmondjes de opname beperken. Om het probleem direct goed te hanteren is een model voor de huidmondjes reactie ontwikkeld dat direct gekoppeld wordt aan de gemeten ETR. Wanneer de huidmondjes verder sluiten zal de belemmering voor de opname van CO₂ tot gevolg hebben dat de energie die is vastgelegd in ETR niet meer effectief wordt gebruikt. Er is als het ware een overschot aan energie en de plant reageert daarop door dat overschot als warmte te dissiperen.

In de GrowSense softsensor is een robuust model opgenomen dat de huidmondjes limitering berekend op basis van bladtemperatuur. De bladtemperatuur wordt gemeten met een infrarood imager. Op basis van de bladtemperatuur, de RV en de luchttemperatuur wordt het dampdruk deficit uitgerekend. Het dampdruk deficit is de belangrijkste factor die de huidmondjesweerstand bepaalt. De relatie tussen de bladtemperatuur, het dampdruk deficit en de huidmondjes geleidbaarheid moet proefondervindelijk worden vastgesteld. De GrowSense softsensor voorziet tevens in een module waarin de bladtemperatuur wordt berekend. Dit is een controle om te bezien of de berekende huidmondjesweerstand die gebruikt wordt in het model een redelijke schatting geeft. Is dat niet het geval dan zal de gemeten bladtemperatuur afwijken van de berekende bladtemperatuur.

Naast een directe meting van ETR met fluorescentie is in de GrowSense softsensor een module in ontwikkeling om ETR_{calc} te berekenen. Dit biedt grote voordelen als de tuinder enige jaren ervaring heeft met het GrowSense concept. In overleg met de adviseur kan dan namelijk interactief gewerkt worden aan een calibratie voor de settings in de berekening van het ETR model waardoor op den duur op meerdere plaatsen in de kas, de fotosynthese kan worden bepaald zonder extra Plantivity meters in te zetten.

4.6.2 Berekening huidmondjes geleidbaarheid

De assimilatiesnelheid wordt in kassen sterk bepaald door het gedrag van de huidmondjes. De huidmondjes opening bepaalt grotendeels de geleidbaarheid voor CO₂ en water. Omdat

de opname van CO₂ en de afgifte van water in planten gekoppeld zijn, is er sprake van een optimalisatieprobleem. Hoe kan een plant zoveel mogelijk CO₂ opnemen en tegelijkertijd het verlies aan water beperken. De meeste C3 planten realiseren dit door de huidmondjes verder te sluiten als de bladtemperatuur oploopt of de RV daalt. In dat geval gaat het besparen van water boven het opnemen van CO₂. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de beperkende conditie in kassen vaak een huidmondjeslimitering is. Met behulp van de fluorescentie kan het effect van de huidmondjes slechts in zeer beperkte mate worden vastgesteld. Bij langdurige sluiting neemt de CO₂ opname weliswaar af maar het elektronentransport dat berekend wordt uit de fluorescentie wordt veel minder geremd. Dit wordt veroorzaakt doordat de CO₂ concentratie in het blad sterk daalt waardoor de fotorespiratie toeneemt. Deze fotorespiratie put energie uit hetzelfde lineaire elektronentransport als de fotosynthese. Hierdoor kunnen verkeerde conclusies worden getrokken over de effecten van CO₂ maar ook indirect over de effecten van temperatuur en RV, via de huidmondjesreactie.

In GrowSense is een softsensor opgenomen die de beperking van de CO₂ opname door de huidmondjes kwantificeert. In het model wordt de huidmondjes geleidbaarheid gesimuleerd als functie van het dampdruk deficit van het blad (VPD_l). VPD_l wordt berekend op basis van bladtemperatuur, luchttemperatuur en RV.

4.6.3 Berekening VPD

Het dampdruk deficit van het blad wordt berekend als:

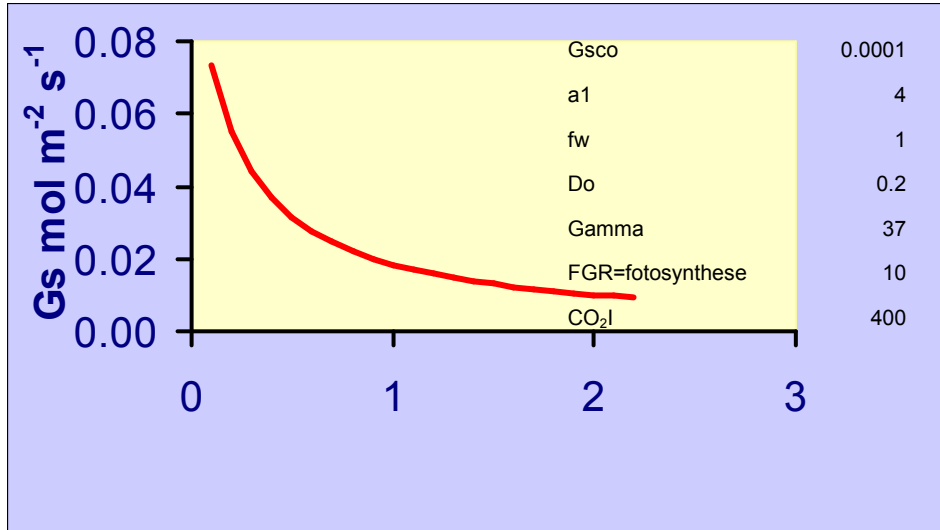
$$e_s = 0.614 e^{(17.50 T / (240.97 + T))} \quad (\text{blad}) \quad (1a)$$

$$e_a = e_s RH / 100 \quad (\text{omgeving}) \quad (1b)$$

$$VPD_l = e_s - e_a \quad (1c)$$

$$G_{sc,l,t} = G_{sco} + \frac{a l f_w FGR_{l,t}}{(CO_2 I - \Gamma) \left(1 + \frac{VPD}{D_o}\right)} \quad (2)$$

In de volgende grafiek is de geleidbaarheid weergegeven als functie van het berekende dampdruk deficit VPD (kPa).



Figuur 10 Functie van het berekende dampdruk deficit VPD (kPa)

De verdamping van het blad wordt berekend uit de samengestelde weerstand van de grenslaag en de huidmondjes. R_s is de reciproque waarde van G_s .

$$E = - \frac{s R_N + \rho C_p (e_a - e_s)/r_a}{\lambda (s + \gamma (1 + r_s/r_a))}$$

E = verdamping ($\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

s = helling van verzadigde dampspannings curve (kPa K^{-1})

γ = psychometrische constante (kPa K^{-1})

λ = latent warmte van verdamping (J g^{-1})

R_N = geabsorbeerde netto straling (W m^{-2})

ρ = dichtheid van lucht (g m^{-3})

C_p = specifieke warmte capaciteit van lucht ($\text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$)

r_a = boundary layer weerstand (s m^{-1})

r_s = huidmondjes weerstand (s m^{-1})

e_s = verzadigde dampspanning blad (kPa)

e_a = verzadigde dampspanning lucht (kPa)

Uit de huidmondjes geleidbaarheid en de berekende momentane fotosynthese wordt de interne CO₂ concentratie C_i berekend.

als PAR>0 dan

$$C_i = C_a - A/g_s$$

$$C_i = \max \{ \Gamma^*; C_a - (C_a - G^*)(1 + VPD/Do)/a_1 \cdot fw \}$$

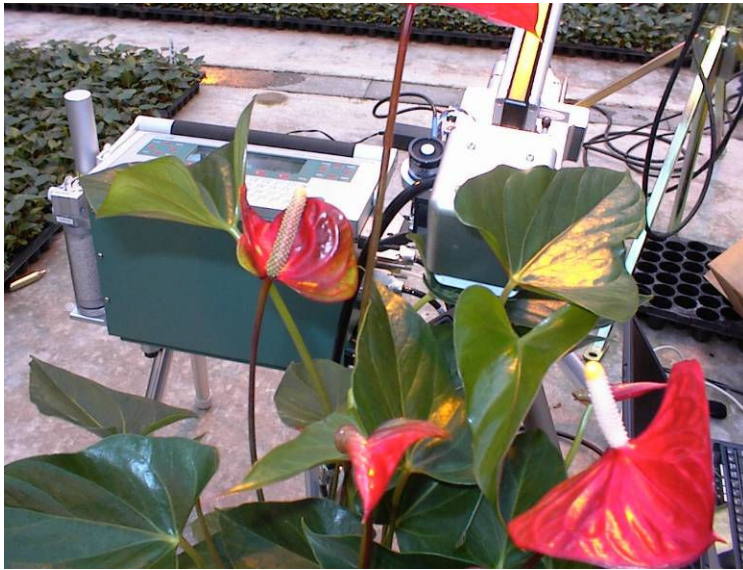
4.7 Calibratie van GrowSense parameters

De fotosynthese response is sterk afhankelijk van seizoensinvloeden en omgevingsfactoren. Het is geen eenvoudige opgave om representatieve metingen te verrichten. Het grote voordeel van het GrowSense concept is derhalve het mechanistische karakter van het model. In feite hoeven niet alle effecten van omgevingsfactoren te worden gemeten. Het bepalen van de maximale capaciteit volstaat. De effecten van beperkingen van de capaciteit worden gemeten via ETR (eventueel met een correctie via de gemeten Conv factor) en de dynamische simulatie van huidmondjesweerstand met de parameters D_o , a_1 , fw en de fotosynthese capaciteit V_{cmax} en J_{max} gemeten bij 25°C. Hieronder is het resultaat van de analyse zoals uitgevoerd in het kader van het project (Tabel 1). Een gedetailleerd overzicht van de metingen die tot onderstaande getallen heeft geleid is vervolgens bijgevoegd.

J_{max} is de maximale elektroncapaciteit bij 25°C. Deze waarde geeft aan hoeveel energie de plant kan opslaan om vervolgens CO₂ in suikers om te zetten. V_{cmax} is de maximale snelheid waarmee CO₂ kan worden gebonden als de huidmondjes open staan. A_1 is een relatieve maat voor de huidmondjesgeleidbaarheid bij een lage VPD. D_0 is de afhankelijkheid van de huidmondjesgeleidbaarheid bij toename van VPD_{blad}. $D_0 > 2$, betekent relatief ongevoelig. $D_0 < 1$ betekent relatief gevoelig.

Tabel 1 Kengetallen van de drie pilotgewassen

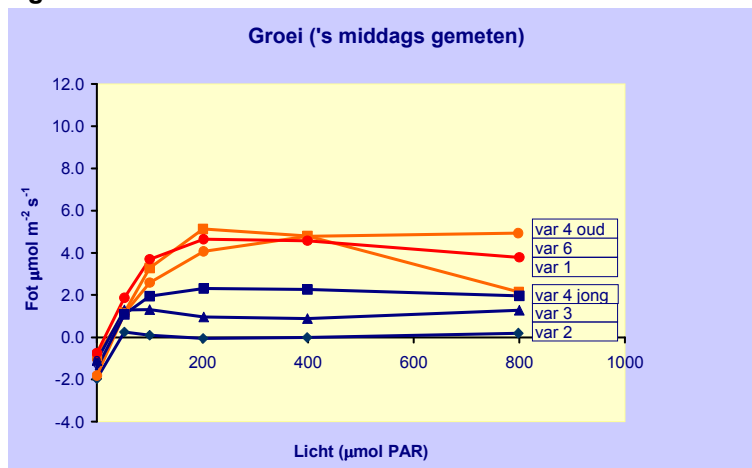
kengetallen	Anthurium	Spathiphyllum	Kalanchoe (C3)
Do	0.4	0.3	1.05
a1	4	12	7
Fw	1	1	1
Conv	1.8	1.85	3.41
Vcmax	25	19.5	37,9
Jmax	96	76	118
Abs	0.74	0.85	0.78



Figuur 11 Anthurium

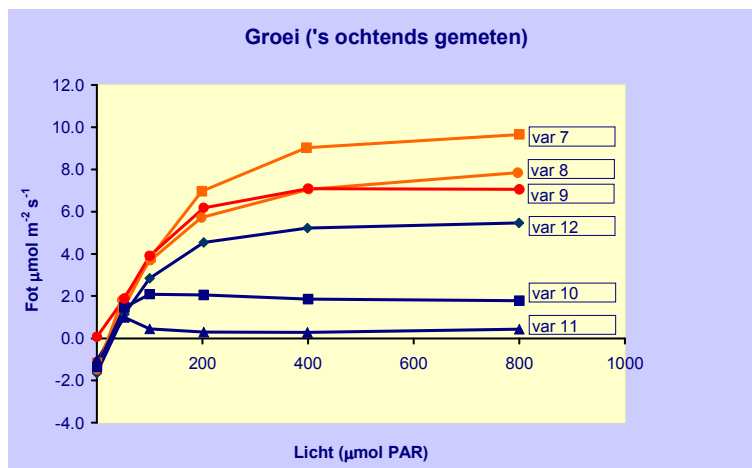
Anthurium

Verschillende cultivars van Anthurium werden getoetst (Figuur 11).



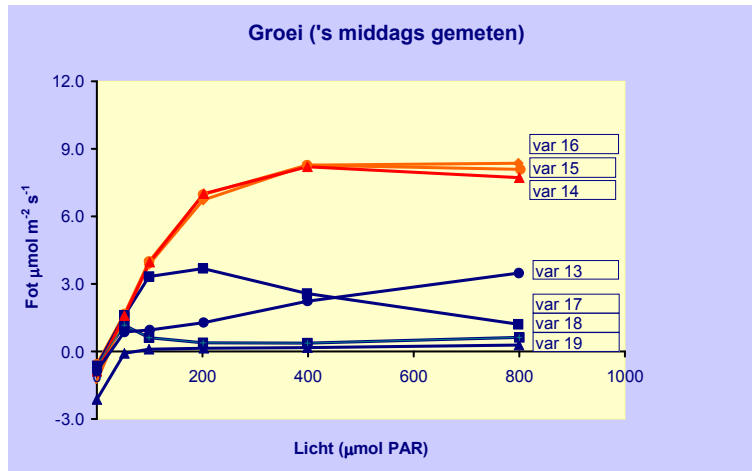
Figuur 12 Groei 's middags gemeten, 5 cultivars

De fotosynthesemetingen van 11 verschillende cultivars van Anthurium (72 plug) (figuur 12 & figuur 13). Op de x-as staat de lichtintensiteit in $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PAR. Om dit om te rekenen naar globale straling buiten moet het getal op de x-as met een factor 0.6 vermenigvuldigd worden. 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PAR binnen is dus gelijk aan 240 W/m^2 globaal buiten. De variatie tussen de cultivars is opgesplitst in 2 groepen: cultivars met een hoge fotosynthese (rode lijnen) en cultivars met een lage of sterk teruggereguleerde fotosynthese (blauwe lijnen).



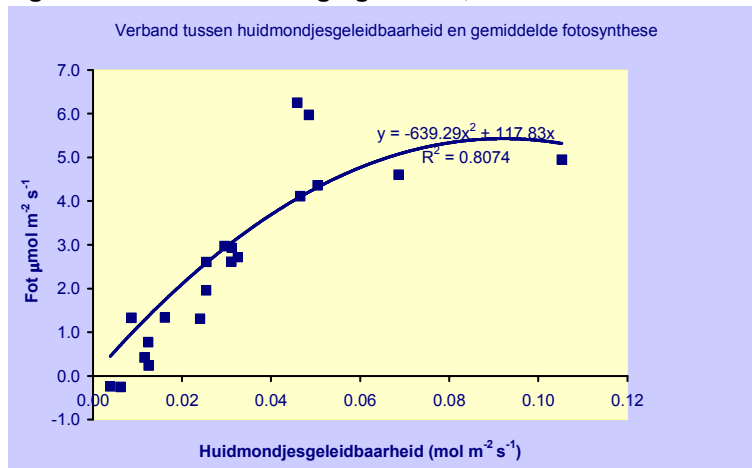
Figuur 13 Groei 's ochtends gemeten, 6 cultivars

Door de hoeveelheid licht in de meetopstelling te variëren kon de reactie van de fotosynthese op een veranderde lichtintensiteit bepaald worden. Er bleek een verschil tussen de ochtend en de middag wat betreft de reactie op licht van de fotosynthese. In de middag is er een lage fotosynthese. Dit wordt een middagdepressie genoemd. Het lichtverzadigingsniveau is in de ochtend aanmerkelijk hoger dan in de middag.



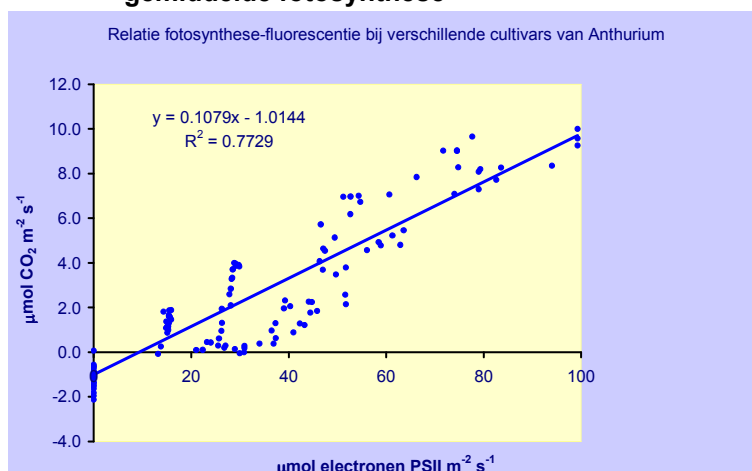
Figuur 14 Groei 's middags gemeten, 7 cultivars

In de middag is de fotosynthese bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PAR volledig verzadigd (Figuur 14).



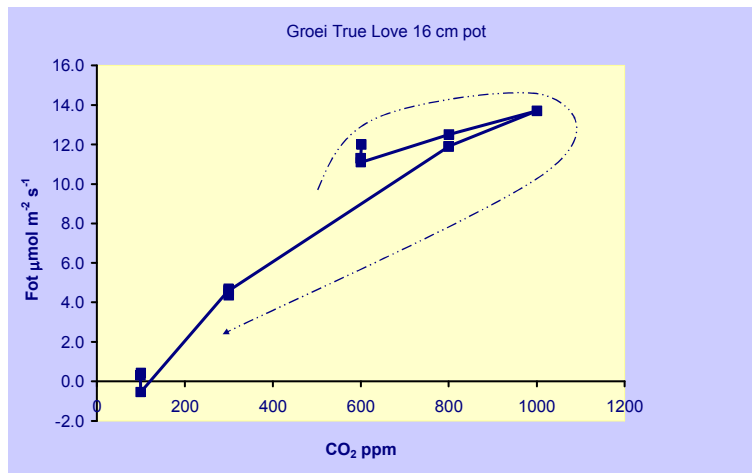
Figuur 15 Verband tussen huidmondjesgeleidbaarheid en gemiddelde fotosynthese

De afname van de fotosynthese in de middag wordt vrijwel geheel bepaald door de sluiting van de huidmondjes. In deze figuur is duidelijk te zien hoe significant het verband is tussen huidmondjesopening en fotosynthese (Figuur 15).



Figuur 16 Relatie ETR en Fluorescentie

De relatie tussen ETR en fluorescentie laat zien dat er ongeveer 10 elektronen langs PS2 passeren om 1 molecuul CO_2 vast te leggen (Figuur 16).



Figuur 17 Fotosynthese verloop gedurende wisselende CO₂

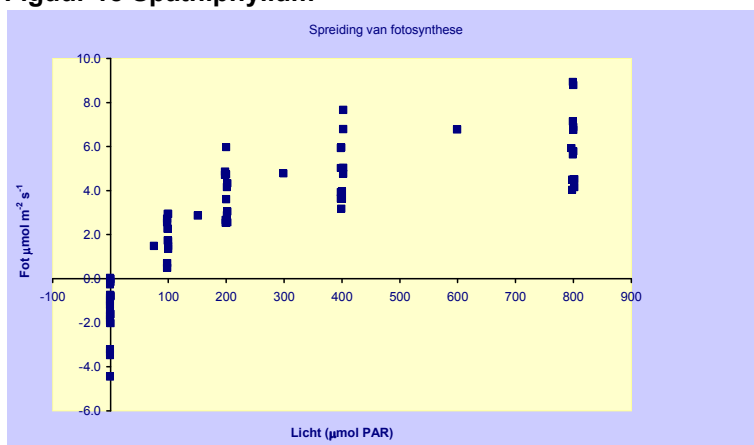
Anthurium reageert sterk op een verhoging van CO₂. Wanneer de concentratie in de opgaande lijn wordt verhoogd is de fotosynthese hoger dan in de neergaande lijn. Dit wordt veroorzaakt door huidmondjes sluiting. Tijdens de opgaande lijn gaan, als gevolg van een stijgende CO₂ concentratie, de huidmondjes langzaam dicht.



Spathiphyllum

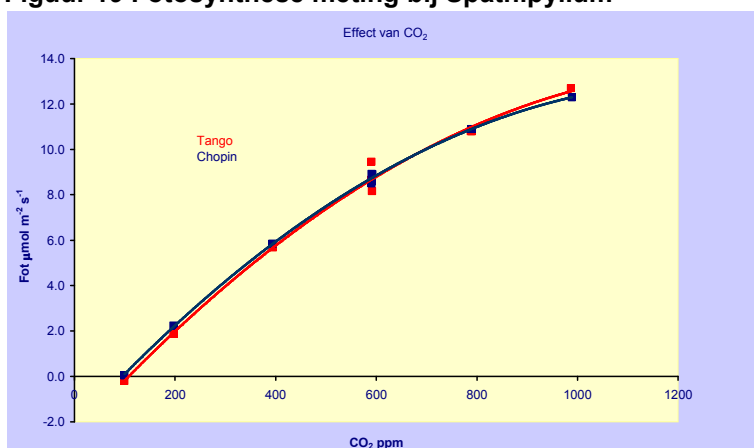
Ras 'Tango' (Figuur 18).

Figuur 18 Spathiphyllum



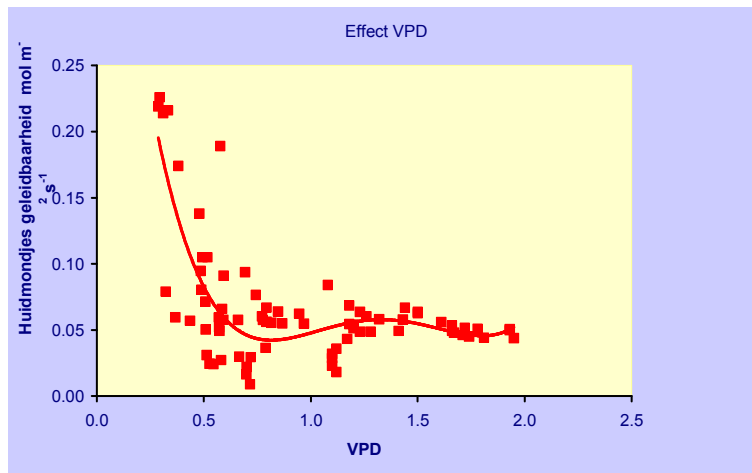
De fotosynthesemetingen van Spathiphyllum laten een lagere fotosynthese capaciteit zien dan bij Anthurium (Figuur 19).

Figuur 19 Fotosynthese meting bij Spathiphyllum



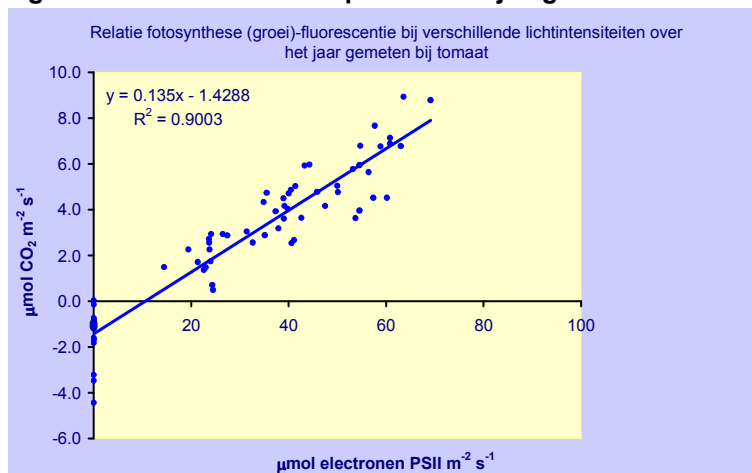
Het effect van CO₂ is zeer duidelijk en er is geen verschil in de CO₂ respons bij de beide getoetste Spathiphyllum rassen (Figuur 20).

Figuur 20 Effect van CO₂ op de Fotosynthese



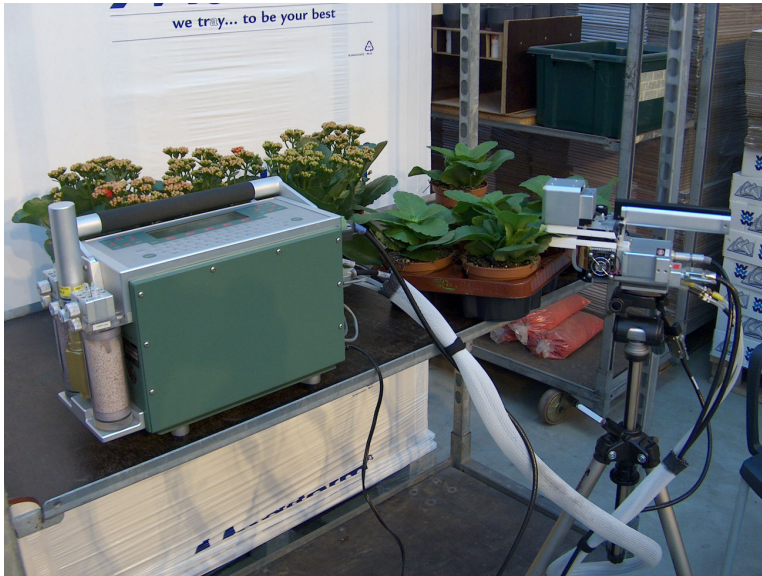
Figuur 21 Effect van VPD op huidmondjes geleidbaarheid

Spathiphyllum heeft een relatief hoge huidmondjes geleidbaarheid maar is zeer gevoelig voor een hoog dampdruk deficit (Figuur 21). Waarschijnlijk is het effect echter overtrokken weergegeven omdat de planten tijdens de behandeling geen tijd hadden om zich aan te passen.



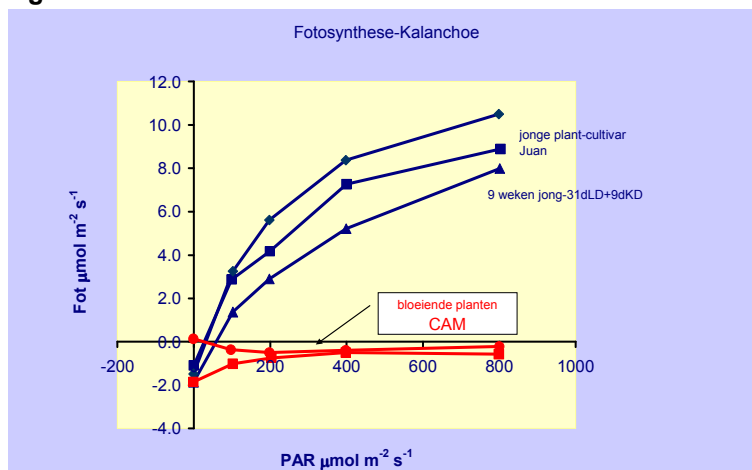
Figuur 22 Relatie ETR en fluorescentie

De relatie tussen ETR en fluorescentie laat zien dat Spathiphyllum efficiënter assimileert dan Anthurium (Figuur 22). Uit de verhouding tussen het elektron transport en de CO₂ assimilatie kan de conversiefactor CONV bereken worden: Uitgaande van een maximaal rendement van 1 CO₂ per 4 elektronen is CONV voor Spathiphyllum 0.25/0.135 (zie vergelijking in figuur).

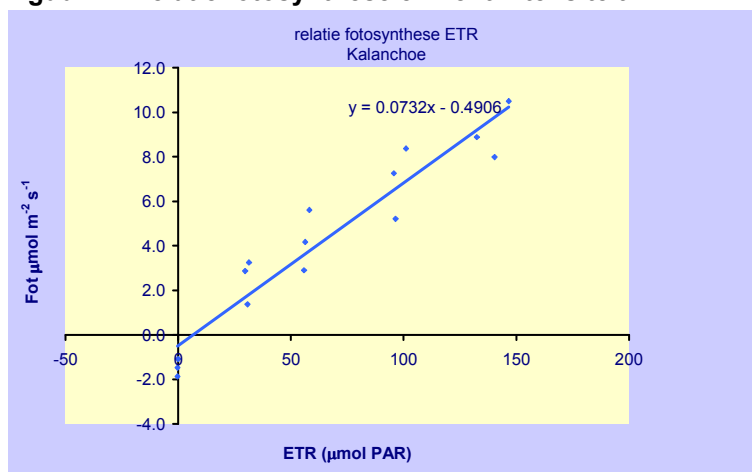


Kalanchoe

Figuur 23 Kalanchoe



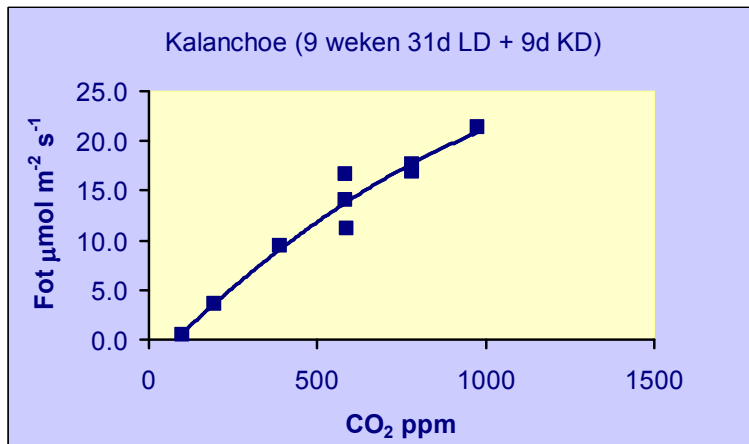
Figuur 24 Relatie fotosynthese en licht intensiteit



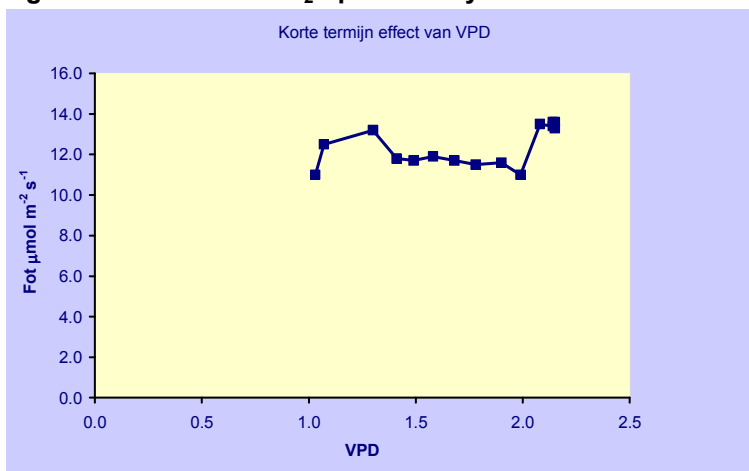
Figuur 25 Relatie ETR en fluorescentie

Bij lage lichtintensiteiten is de fotosynthese van C3 bladeren ongeveer gelijk aan bladeren van Spathiphyllum (Figuur 24). Er is echter een groot verschil in de relatie tot hogere lichtintensiteiten. De fotosynthese van gezonde volgroeide bladeren is zelfs bij 800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PAR nog niet verzadigd. De CO_2 concentratie was 600 ppm.

De relatie tussen ETR en fluorescentie laat zien dat er ongeveer 15 elektronen langs PS2 passeren om 1 molecuul CO_2 vast te leggen (Figuur 25). Kalanchoe is daarmee het minst efficiënt met licht van de 3 getoetste planten. Het verzadigingsniveau van de fotosynthese is echter duidelijk het hoogst.



Figuur 26 Effect van CO₂ op de fotosynthese



Figuur 27 Effect van VPD op de fotosynthese

Het effect van CO₂. Kalanchoe is bij 1000 ppm nog niet verzadigd. Dit biedt perspectieven voor hogere streefwaardes van de CO₂ concentratie (Figuur 26). Het is in dat geval natuurlijk wel belangrijk te weten of er sprake is van CAM. In dat geval heeft CO₂ doseren in het licht geen zin.

Binnen een half uur reageert Kalanchoe niet op een sterke verlaging van de VPD (Figuur 27). De fotosynthese blijft hoog bij een lichtintensiteit van 800 $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ PAR een CO₂ concentratie van 600 ppm. De temperatuur liep in een half uur op tot 30°C en de RV daalde naar 30%. Het is belangrijk dat in de praktijktoets goed wordt gelet op de aanpassing van Kalanchoe aan hogere VPD waarden, gemeten over langere termijn.

4.8 Analyse metingen pilotgewassen

Hierbij de voorlopige schattingen op basis van fotosynthesemetingen van de drie pilotgewassen.

Spathiphyllum

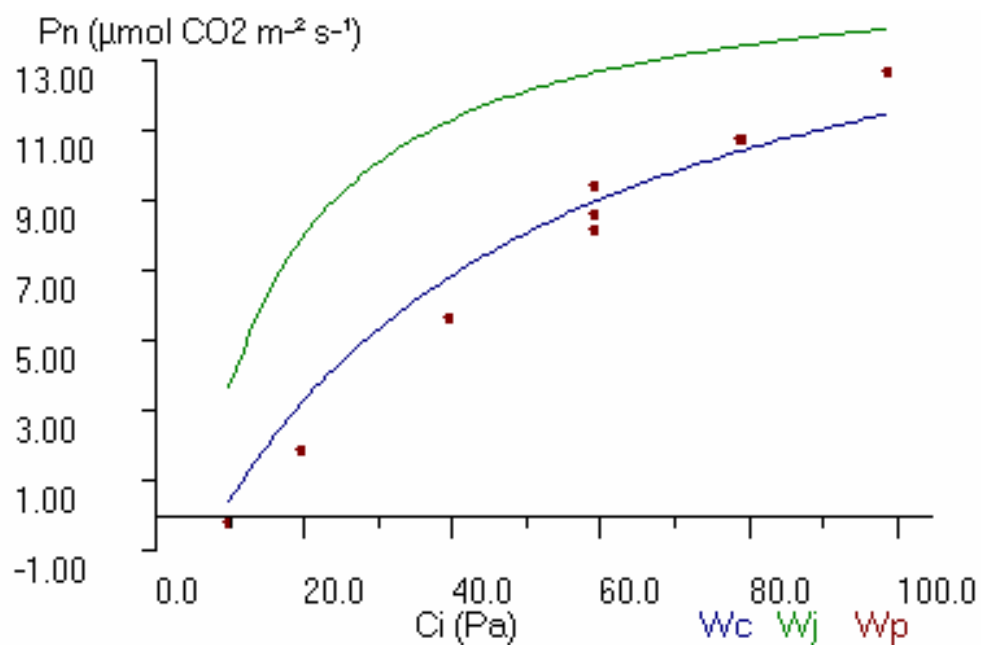
Parameter schattingen

Resp 1.70

Vcmax 19.5

Jmax 76.4

CO₂ compensatiepunt geschat voor Wc = 8.66



Figuur 28 Spathiphyllum

Anthurium

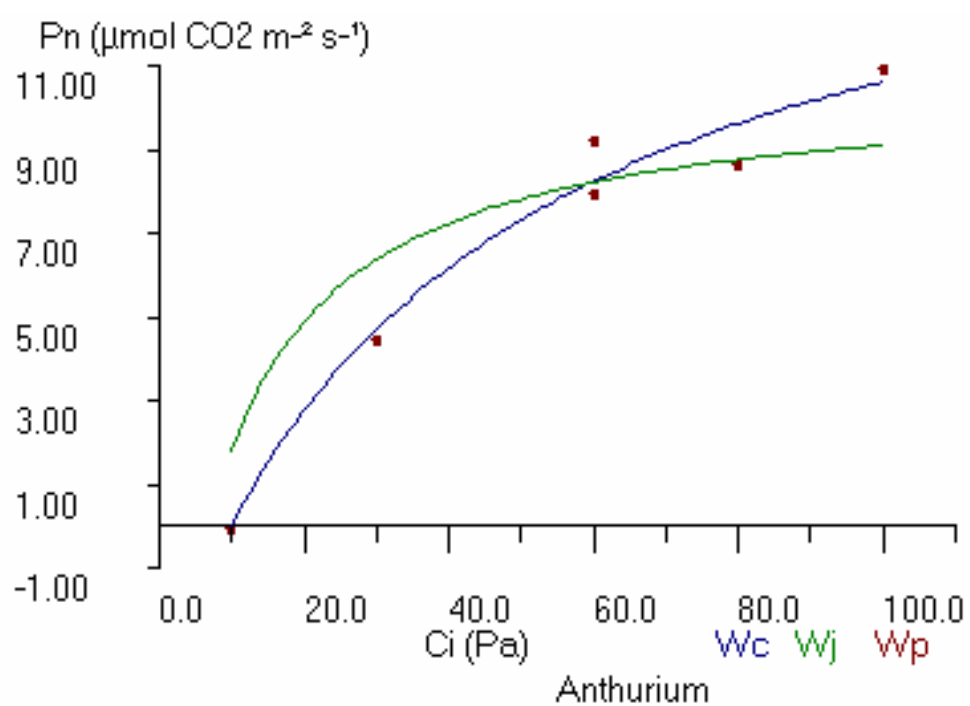
Parameter schattingen

Resp 2.00 Fixed

Vcmax 18.6

Jmax 93

CO₂ compensatie punt voor Wc= 9.82



Figuur 29 Anthurium

Kalanchoe

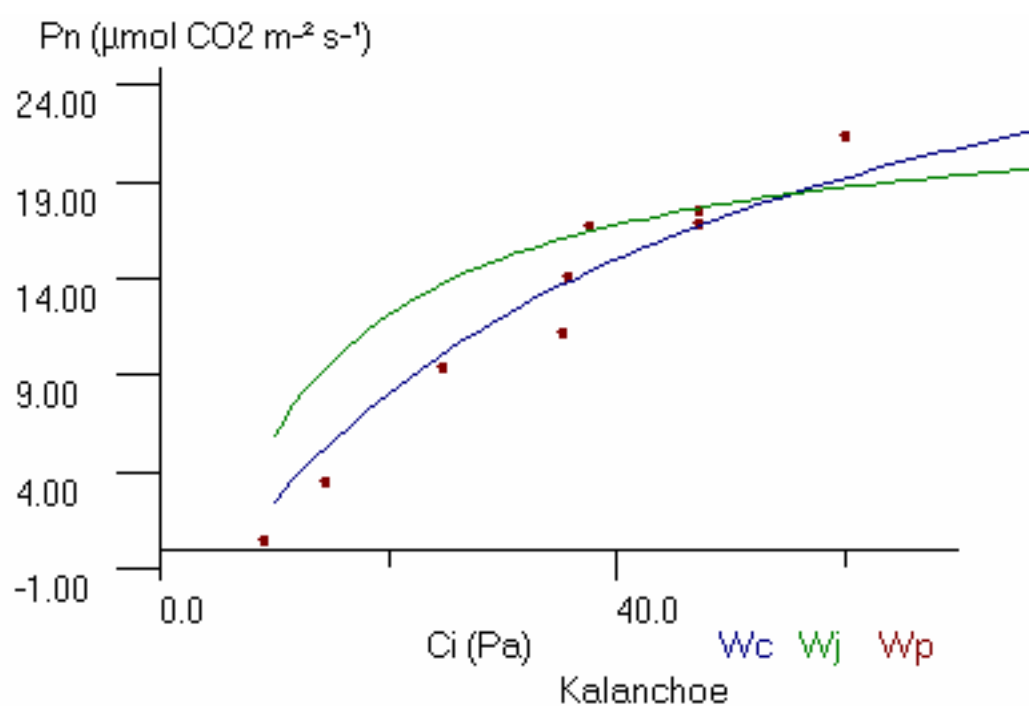
Parameter schattingen

Resp 1.65 Fixed

Vcmax 37.9

Jmax 118 Fixed

CO₂ compensatie punt voor Wc= 6.39



Figuur 30 Kalanchoe

5 Modelbeschrijving assimilatie

De basis van het GrowSense model is beschreven in Farquhar *et al.* (1980) and Farquhar & von Caemmerer (1982). De aanpassingen en gemaakte keuzes voor de GrowSense softsensor zijn hieronder aangegeven. De wiskundige formuleringen zijn alleen van belang voor diegene die de methode zelf willen programmeren om het model uit te testen. Voor de gebruiker van het model zijn deze details van minder groot belang.

De fotosynthesesnelheid (A) van een blad wordt bepaald door het minimum van 2 processen:

1. De carboxylatiesnelheid wanneer ETR beperkend is: (V_j) of
2. de carboxylatiesnelheid wanneer CO_2 in het blad beperkend is (V_c).

$$A = (1 - \Gamma^* / C_i) \cdot \min(V_c, V_j) - R_d \quad (\text{A1})$$

Γ^* is het intercellulaire CO_2 compensatie punt. Deze vereenvoudigde notatie wijkt enigszins af van het theoretisch correcte model waar gerekend wordt met C_c (de CO_2 concentratie in de chloroplast). De term Γ^*/C_i is de fractie van de hoeveelheid CO_2 die vrijkomt in het proces van fotorespiratie. C_i kan nooit kleiner worden dan Γ^* . In dat geval zou Γ^* 10-14 μmol hoger liggen vanwege de mesofyl weerstand die overbrugd moet worden. De uitkomsten van het model worden door deze vereenvoudiging echter nauwelijks beïnvloed, tenzij de CO_2 concentratie veel lager is dan in de kasteelt gebruikelijk. Fotorespiratie is een fundamenteel ander proces dan de normale ademhaling (R_d) of ook wel dissimilatie genoemd, wordt bepaald als het snijpunt met de ij-as van de fotosynthese-licht respons curve. De ETR afhankelijke assimilatie (V_j) en de Rubisco- CO_2 afhankelijke assimilatie worden in het model in eerste instantie onafhankelijk van elkaar berekend. Voor de berekening van de uiteindelijke assimilatie wordt later het minimum van beide relevante expressie genomen. Eerst de berekening van de Rubisco- CO_2 afhankelijke assimilatie V_c :

$$V_c = V_{\text{cmax}} \frac{C_i}{C_i + K_{\text{mC}}(1 + O / K_{\text{mO}})} \quad (\text{A2})$$

K_{mC} en K_{mO} zijn Michaelis-Menten constanten voor de binding van respectievelijk CO_2 en O_2 aan Rubisco. Rubisco is het enzym in de bladgroenkorrels dat beide gascomponenten bindt. Het is zeer specifiek voor CO_2 maar door de relatief hoge O_2 concentratie bindt het ook nog redelijk veel O_2 . Voor 2 moleculen O_2 die gebonden worden, komt 1 molecuul CO_2 vrij. Als de condities zodanig zijn dat er 2 keer zoveel O_2 wordt gebonden als CO_2 , dan is de netto opname van de fotosynthese, gecorrigeerd voor de donkerademhaling, exact 0. In het GrowSense concept wordt ETR berekend uit de fluorescentie parameters. Dit biedt voldoende informatie om de uitkomsten te combineren met het CO_2 -afhankelijke deel van het model. We hebben echter geconstateerd dat er veel behoefte is om de condities op meerdere plaatsen in de kas te evalueren. Daarom is er naast de metingen ook een berekening van het elektronentransport in het concept opgenomen. Bij de evaluatie is het de bedoeling beide output signalen met elkaar te vergelijken. Na eventuele correcties op de parameter setting zal dit resulteren in gelijke uitkomsten, ook onder wisselende condities. Is

dit stadium bereikt dan kunnen metingen op andere plaatsen in de kas, vertaald worden in productiecijfers zonder installatie van meerder Plantivities. Uiteraard dienen wel de andere omgevingssensoren te worden geïnstalleerd. Daarnaast biedt de vergelijking van beide methode goed inzicht in de correcte werking van zowel meting als model. De berekening van de snelheid waarmee CO₂ kan worden vastgelegd, onder licht beperkende omstandigheden, wordt bepaald door de manier waarmee de plant twee verschillende vormen van energie consumeert. ATP is de directe energie voor de omzetting van CO₂ in suiker en NADPH levert het benodigde reducerende vermogen:

$$V_j = ETR \frac{C_i}{4C_i + 8\Gamma_*} \quad (\text{NADPH limiting}) \quad (\text{A3a})$$

$$V_j = ETR \frac{C_i}{4.5C_i + 10.5\Gamma_*} \quad (\text{ATP limiting}) \quad (\text{A3b})$$

In het GrowSense concept wordt ETR in de vergelijking voor de berekening van V_j op 2 manieren opgelost:

1 uit de gemeten fluorescentie

$$ETR = \left(\frac{F_m' - F_s}{F_m'} \right) fI\alpha_{leaf}$$

of

2^e modelmatig als ETR_{calc} . De manier waarop ETR_{calc} van de straling afhangt is het beste te beschrijven als een rechthoekige hyperbool die met een bepaalde vooraf in te stellen kromming (T) verloopt (Farquhar & von Caemmerer 1981; 1982). In het GrowSense concept wordt ETR_{calc} bepaald als een niet-rechthoekige hyperbool:

$$ETR_{calc} = \left(\alpha_{leaf} I + J_{max} - \sqrt{(\alpha_{leaf} I + J_{max})^2 - 4\theta_J J_{max} \alpha_{leaf} I} \right) / (2\theta_J) \quad (\text{A4})$$

I is de hoeveelheid geabsorbeerd licht: $I = f * PAR$, waarin f de absorptieconstante van het blad vertegenwoordigt, de waarde van f varieert tussen 0.75 en 0.85. θ_J bepaalt de convexiteit van de curve, en α_{leaf} de fractie licht quanta dat door PS2 wordt benut. Voor het lineaire deel van ETR is de maximale theoretische waarde van α_{leaf} gelijk aan 0.5 mol elektron per mol fotonen die worden geabsorbeerd (Farquhar et al. 1980). Dit kan eenvoudig worden beredeneerd omdat er door beide fotosystemen 1 foton moet worden geabsorbeerd om 1 electron van H₂O naar NADP⁺ te transporteren. In de meeste gevallen is α_{leaf} kleiner dan 0.5. Dit wordt veroorzaakt door alternatieve elektron flow via Mehler reactie en cyclisch elektron transport rond PS1. In het model van Yin en Schapendonk wordt uitvoerig ingegaan op de implicaties van beide processen uitmondend in een schatting:

$$\alpha_{leaf} = \frac{(1 - f_{cyc})\Phi_{1m}\Phi_{leaf}}{\Phi_{1m}(1 - f_{cyc}) + \Phi_{leaf}} \quad (A5)$$

waarin Φ_{1m} – de maximum elektron efficiëntie van PSI – vrijwel zeker op 1 gesteld kan worden. In het GrowSense concept wordt bovenstaande formule (nog) niet gebruikt en wordt α_{leaf} om praktische redenen gekalibreerd op basis van metingen met de Licor 6400. Voor gebruikers van het oude GrowSense model geldt $\alpha_{leaf} = 0.5 \cdot 1/\text{conv}$. Op die manier wordt empirisch bepaald welk deel van de elektronen niet bijdraagt aan de opbouw van energie. In de oude benadering wordt op die manier impliciet ook de fotorespiratie verdisconteerd. In het nieuwe model is voorzien in een separate benadering van de fotorespiratie, zie vergelijking A9.

Temperatuur speelt een belangrijke rol in het model. De maximale snelheid van CO₂ binding (V_{cmax}), de Michaelis Menten constante voor de binding van CO₂ (K_{mc}), en de Michaelis Menten constante voor de competitieve binding van zuurstof (K_{mo}) worden beschreven volgens de Arrhenius function, genormaliseerd voor de conditie van een bladtemperatuur van 25°C.

$$\text{Parameter} = \text{Parameter}_{25} \cdot e^{(c - E_{ha} / R(T+273))} \quad (A6)$$

Tabel 2 E_{ha}

	Parameter 25°C	c	E _{ha}
R _d	1	18.72	46.36
V _{cmax}	1	26.35	65.33
V _{omax}	1	22.98	60.11
Γ*	42.75	19.02	37.83
K _{mc}	404.9	38.05	79.43
K _{mo}	278.4	20.3	36.38
J _{maxcalc}	1	17.57	43.54

E_{ha} is de activeringsenergie gecombineerd met een schalingsconstante, R is de universele gasconstante (Tabel 2).

Voor J_{max} wordt meestal een aangepaste Arrhenius functie gebruikt waarin niet alleen de activering maar ook de de-activering wordt beschreven (De Pury & Farquhar 1997; Medlyn et al. 2002).

$$J_{max} = J_{max25} \cdot e^{\frac{(T-25)E_{Jmax}}{298R(T+273)}} \cdot \frac{1 + e^{(298S_J - D_J)/(298R)}}{1 + e^{[(T+273)S_J - D_J]/[R(T+273)]}} \quad (A7)$$

$J_{\max_{25}}$ is $J_{\max}$ bij de referentie temperatuur 25°C. $J_{\max_{25}}$ wordt bepaald uit calibratie metingen met de Licor. S_J is een entropy term, $E_{J_{\max}}$ en D_J zijn de activeringsenergie en de de-activeringsenergie.

In het GrowSense concept gebruiken we de vereenvoudigde expressie (A8). De vereenvoudiging mag alleen toegepast worden binnen zekere temperatuurgrenzen omdat impliciet wordt aangenomen dat J exponentieel blijft toenemen. In de praktijk van de kasteelt zal dit geen problemen opleveren omdat de berekende fotosynthese bij toenemende temperatuur wordt gelimiteerd door de CO_2 opname en minder door het elektronentransport, Bovendien wordt J ook bepaald via de fluorescentie metingen.

$$J_{\max} = J_{\max_{25}} \cdot e^{(T-25)E/[298R(T+273)]} \quad (\text{A8})$$

In het model wordt Γ^* berekend als:

$$\Gamma^* = 0.5O(K_{mC} / K_{mO})(V_{\text{omax}} / V_{\text{cmax}}) \quad (\text{A9})$$

waarin de factor 0.5 wordt gegeven door het feit dat er 1 molecuul CO_2 vrijkomt en 2 moleculen O_2 uit de fotorespiratie. O is de zuurstof concentratie.

6 Modelbeschrijving on-line stress detectie

In het algemeen willen we stresssituaties voor de plant voorkomen. Vooral nu de eisen ten aanzien van het milieu en kwaliteit toenemen, wordt er meer en meer op het scherpst van de snede geteeld, met kans op stresssituaties voor de plant en daarmee mogelijk negatieve gevolgen voor de opbrengst. Vroegtijdige detectie van stress door middel van plantsensoren kan hier uitkomst bieden.

In toenemende mate wordt er in de tuinbouw ketengericht geproduceerd. Hierbij speelt voorspelling en vooral ook planning van de oogst een steeds belangrijkere rol. Om de oogst te kunnen voorspellen of plannen wordt het noodzaak om de groei van het gewas en de processen die hiervoor van groot belang zijn continu te kunnen monitoren. Ook om de klimaatregeling en water- en nutriëntengift te kunnen optimaliseren is kwantitatieve informatie over groei en ontwikkeling van het gewas door monitoring van belang. Een groot aantal facetten van plantgroei en -ontwikkeling kunnen met een verscheidenheid aan technieken gemeten worden. De mogelijkheden om technieken te combineren en verschillende processen simultaan te meten zijn hierbij nog onvoldoende geëxploreerd.

De veranderingen in plantgroei en -ontwikkeling ten gevolge van wisselende omgevingsfactoren voltrekken zich met een traagheid, variërend van seconden tot enkele maanden. Het snelst reageren de processen die gerelateerd zijn aan waterhuishouding en fotosynthese (seconden tot uren). Aanpassingen van de verdeling van koolstof en nutriënten over organen zijn trager (uren tot dagen). Het traagst reageren de ontwikkelingsprocessen zoals bladafplitsing, bloemvorming, vruchtzetting, vruchtrijping en veroudering (dagen tot maanden).

We kunnen sensoren onderscheiden naar traagheid van de respons van de te meten variabele:

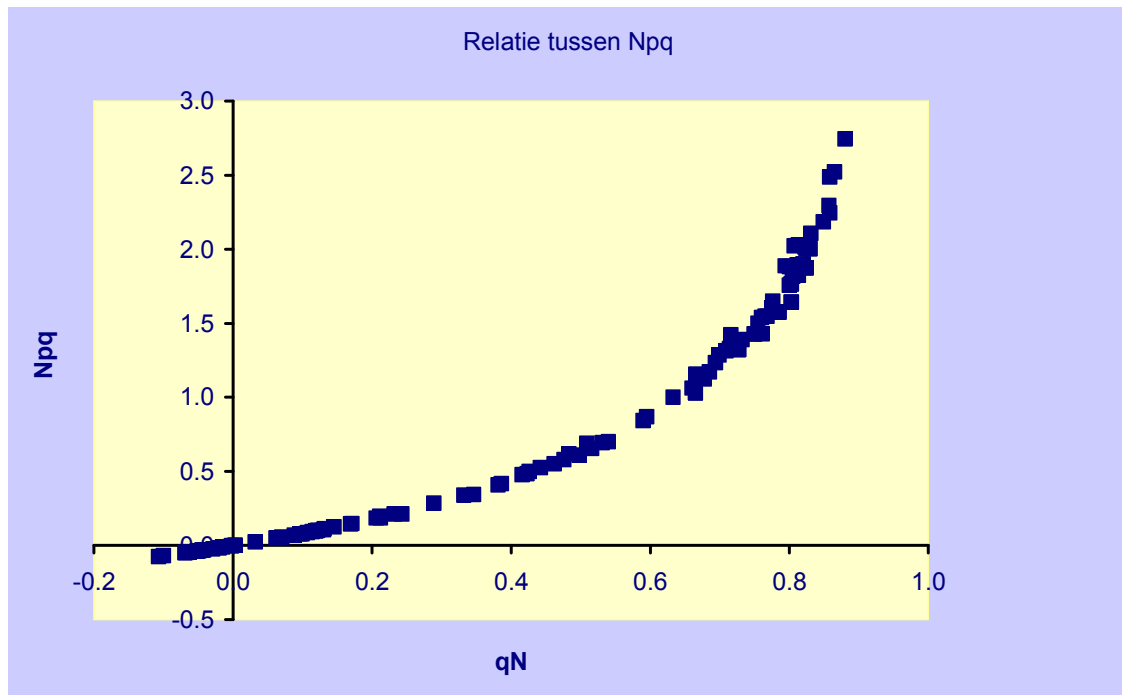
- Trage respons variabelen: bladoppervlak, generatieve ontwikkeling.
- Medium respons variabelen: koolstofverdeling, nutriëntenopname en groei (plantgewicht).
- Snelle respons variabelen: fotosynthese en verdamping.

Voor de verschillende tijdsconstanten gelden andere definities van stress. Momentane stress zal in eerste instantie een regulerende response uitlokken. Een goed onderzochte parameter, is de zelfregulerende factor NPQ, waarmee de plant een overschot aan lichtenergie kan kwijtraken. NPQ is berekend volgens de vergelijking:

$$NPQ = \frac{F_m - F_m'}{F_m'} \quad (B1)$$

De fluorescentie parameters qN en Npq zijn beiden een geschikte maat voor de hoeveelheid lichtenergie die door de plant niet meer gebruikt wordt en die bij langdurige blootstelling schade veroorzaakt. Dit is een effect dat op langere termijn tot schade leidt als het Npq mechanisme niet goed functioneert.

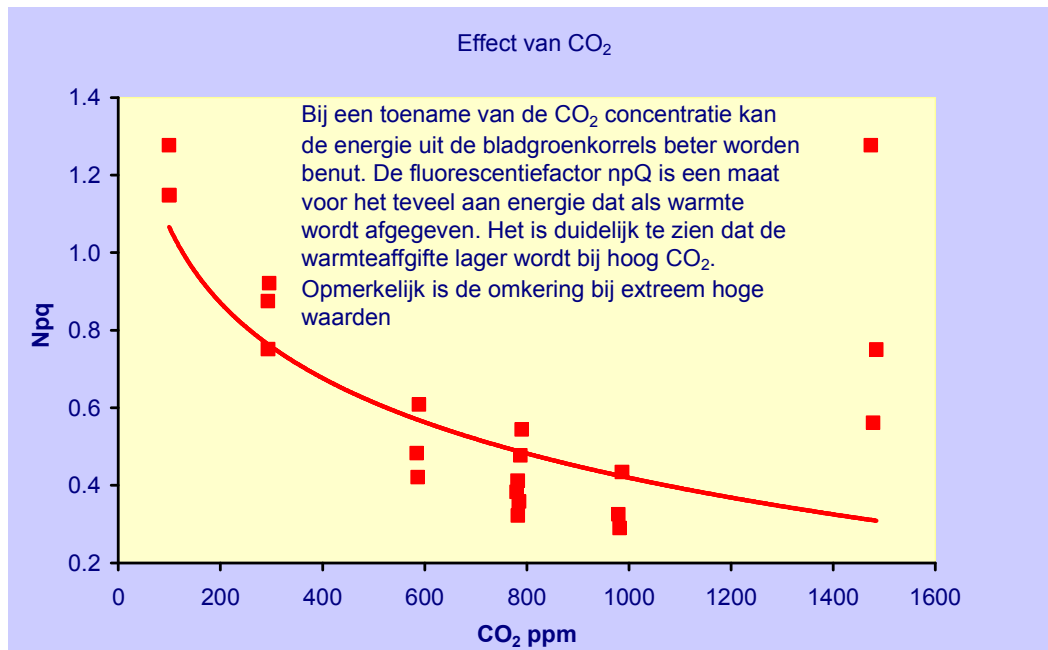
Als maat voor stress wordt aan Npq de voorkeur gegeven boven qN (een andere maat voor ongeveer hetzelfde fenomeen). Npq is in het interessante traject waar de lichtstress verwacht wordt (boven 1.5 voor Npq, en boven 0.7-0.8 voor qN) veel gevoeliger dan qN.



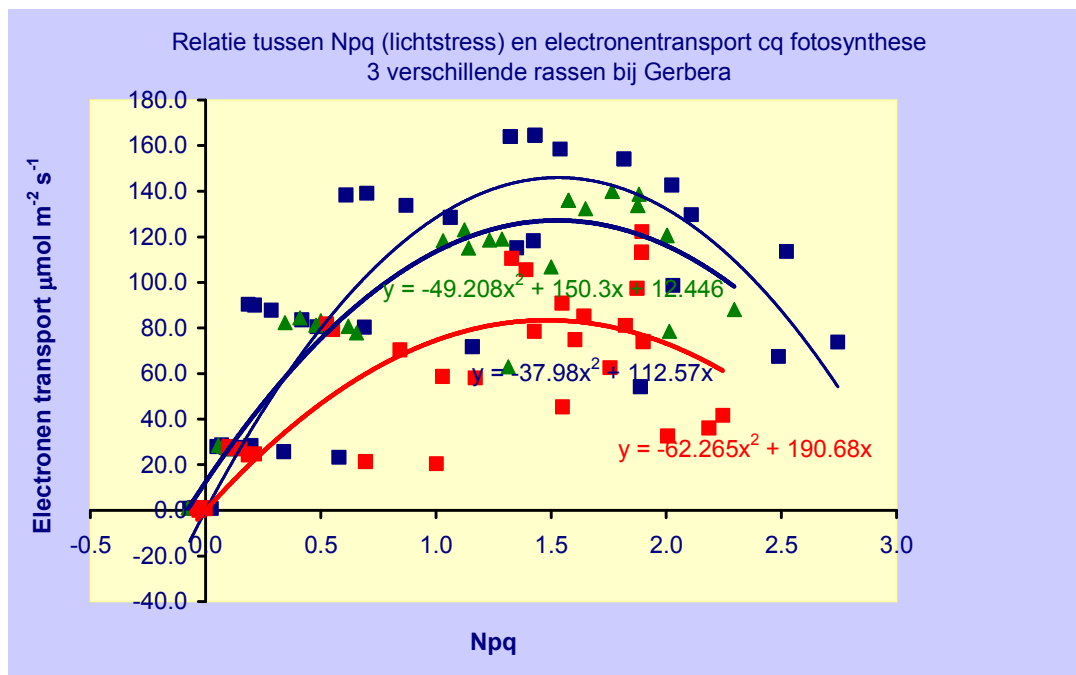
Figuur 31 Relatie tussen NPQ en qN

Er is een zeer significant verband tussen de toename van Npq tot waarden boven 1.5 en de afname van de fotosynthese capaciteit, verderop weergegeven als elektronen transport. Het is een misverstand dat bij Npq waarden boven 1,5 de fotosynthese afneemt. Vergelijk het met de toerenteller. Bij een toename van 7000 naar 8000 toeren neemt de snelheid van de auto immers nog wel toe. Het verschil met een toename van 2000 naar 3000 toeren is de toename in stress die de motor bij de hoge toeren ondervindt. Het volgende voorbeeld illustreert het bijzonder waardevolle aspect van Npq.

De CO₂ concentratie wordt langzaam verhoogd van 50 naar 1500 ppm bij vol licht. Omdat de plant de geabsorbeerde lichtenergie bij 50 ppm CO₂ niet kan gebruiken omdat er te weinig CO₂ in het blad aanwezig is, moet de plant het teveel aan energie kwijt raken. Dit resulteert in een hoge waarde voor Npq zonder dat de fotosynthese in eerste instantie dramatisch afneemt. Bij een verhoging van de CO₂ concentratie neemt de lichtbenutting toe en daalt Npq. De reactie van de fluorescentie op CO₂ is overigens altijd trager dan de reactie die gemeten wordt met de LICOR fotosynthesemeter. De vertraging is ongeveer 20 minuten. Dit wordt veroorzaakt doordat het electronentransport in de chloroplast tijdelijk wordt opgevangen door andere acceptoren dan de acceptoren die gekoppeld zijn aan de CO₂ opname.



Figuur 32 Effect CO₂ op NPQ



Figuur 33 Relatie NPQ en fotosynthese

Een absolute daling van de fotosynthese treedt meestal pas op bij een Npq boven 1,5, zoals hierboven aangegeven voor Gerbera. Bij welke waarde dit omslagpunt precies plaats vindt is afhankelijk van het gewas en dient proefondervindelijk te worden vastgesteld. Als de Npq niet hoger wordt dan 0,5 hebben we te maken met een gewas dat bij lage toeren “dieselt” zonder noemenswaardige stress.

Als de stressfactor is opgeheven, betekent dit nog niet dat de plant is hersteld van de stress. In dat geval kunnen hoge Npq waarden worden gemeten ondanks het feit dat de

omgevingscondities optimaal lijken. Zoals eerder opgemerkt kan een defect in NPQ leiden tot lange termijn effecten, die in eerste instantie niet separaat geanalyseerd kunnen worden van de korte-termijn respons. In het huidige GrowSense concept is een route (als snelheids parameter gedefinieerd) voor irreversibele energie dissipatie opgenomen; Φ_{NO} , die afzonderlijk wordt gemeten van de snel omkeerbare component Φ_{NPQ} .

Tot slot kan worden opgemerkt dat er momenteel een concept versie beschikbaar is, waarin de energiestromen worden berekend voor de diverse routes van energiebenutting in de plant: Φ_{II} , de dissipatie door regulering Φ_{NPQ} en verliezen door irreversibele stress Φ_{NO} :

$$B2 \quad \Phi_{II} = \frac{F'_M - F_S}{F'_M}$$

$$B3 \quad \Phi_{NO} = \frac{1}{NPQ + 1 + q_L(F_M/F_O - 1)}$$

$$B4 \quad \Phi_{NPQ} = 1 - \Phi_{II} - \frac{1}{NPQ + 1 + q_L(F_M/F_O - 1)}$$

$$B5 \quad q_P = \frac{F_{m'} - F}{F_{m'} - F_{o'}}$$

$$B6 \quad F_{o'} = \frac{F_o}{\frac{F_v}{F_m} + \frac{F_o}{F_{m'}}}$$

$$B \quad q_L = q_P \cdot \frac{F'_O}{F_S}.$$

7 Praktijkmonitoring

In fase 2 is in eerste instantie een generiek model opgesteld dat is omgezet naar software voor toepassing in de praktijk. Het generieke model is aan de hand van de metingen in fase 3 verder toegespitst op de pilotgewassen potanthurium, Kalanchoe en Spathiphyllum. Een zeer belangrijke aanvulling in het model is de regulering van de huidmondjes. Er zijn daarnaast systematisch een aantal vereenvoudigingen doorgevoerd waardoor het totale model met 4 parameters gewasspecifiek kan worden gemaakt.

In fase 4 is gestart met praktijkmonitoring en toetsing van het GrowSense-model. Hierbij is per gewas uitgegaan van het specifieke gewasmodel. De monitoring is gedurende 1 jaar op twee praktijkbedrijven per pilotgewas uitgevoerd. In totaal dus op $2 \times 3 = 6$ praktijkbedrijven. In tabel 3 is een overzicht van de bedrijven weergegeven. Bij het bepalen van de proefpartijen is rekening gehouden dat het gaat om een jaarrond monitoring. De genoemde rassen worden dan ook jaarrond gevolgd op de bedrijven.

Op de bedrijven is een uitgebreide meetset (growlab) geplaatst en zijn de diverse parameters in het GrowSense-model vastgelegd en indien nodig bijgesteld. Daarnaast zijn diverse gewasmetingen als lengte, bladafsplitsing, vers- en drooggewicht etc verricht. Ook is een logboek bijgehouden en eventuele gewasafwijkingen. Een cultivar per bedrijf is uitvoerig gevolgd met de Growlab.

Gestart is met praktijkmonitoring zodat duidelijk wordt wanneer en onder welke omstandigheden de fotosynthese hoog dan wel laag is en wanneer stress optreedt. Op basis hiervan kon in overleg met de teler de klimaatsturing plaats vinden. Indien gewenst kon vooraf (theoretisch) berekend worden wat dit voor effect heeft op de productie en vervolgens gemeten worden in de praktijk. De deelnemende telers konden tijdens de monitoring on-line hun eigen gegevens volgen. Hierdoor wordt meer duidelijkheid verkregen over de beslismomenten in klimaat. Naast teveel stress is het voor de groei ook nadelig wanneer het de plant te gemakkelijk gemaakt wordt. Niet alle klimaatfactoren worden dan maximaal benut, waardoor het rendement achter blijft. Met de gegevens van de meetset zijn de gevolgen van klimaatinstellingen (temperatuur, scherminstellingen, CO₂ e.d.) zichtbaar gemaakt.

Het uitgangsmateriaal is per teelt gesorteerd op gelijkheid. Per teelt is minimaal een partij van 1000 planten aangehouden. De gewaswaarnemingen zijn per partij aan 2×10 planten gevolgd. In de tabel zijn de deelnemende bedrijven weergegeven.

Tabel 3 Deelnemende bedrijven praktijkmonitoring

Gewas	Bedrijf	Teeltsysteem	Cultivar	Potmaat	Teeltduur
Pot-anthurium	KP Holland (Priva)	Rolcontainer loopt door	1. Rodena 2. Orangina	14 cm 14 cm	Ca. 30 – 35 wk
	Rijn Plant (Hoogendoorn)	Betonvloer	1. Red Love	14 cm	Ca. 30 – 35 wk
Kalanchoe	KP Holland (Priva)	Rolcontainer 4-6 wk vast	1. Don Juan 2. Don Frederico	12 cm 12 cm	10 wk KD 10 wk KD
	Kw. Lankhaar (Priva)	Rolcontainer 4-6 wk vast	1. Juventa 2. Bromo	10,5 cm 10,5 cm	5 wk LD +9 wk KD 4 wk LD + 10 wk KD
Spathi-phyllum	Sjaloom (Hoogendoorn)	Rolcontainer 4-6 wk vast	1. Tango 2. Chopin	10,5 cm 10,5 cm	18 (8+5+5) wk 15 (5+5+5) wk
	Van der Voort Potplanten BV (indal)	Rolcontainer loopt door	1. Chopin 2. 1960	13 cm 13 cm	23-24 wk 23-24 wk

Het monitoren van de planten, om o.a. de groei (assimilatie) en vroegtijdig een stress-situatie te detecteren, is uitgevoerd met de nieuwste technieken van plantsensoren. Hiervoor is per bedrijf een Growlab ingezet. Deze meet bovengronds:

- Ruimtetemperatuur
- RV
- CO₂
- PAR-licht (2x)
- Planttemperatuur
- Fotosynthese (= plantivity-meter)

ondergronds:

- Potttemperatuur
- Watergehalte
- EC

Deze gegevens konden via het software programma Growwatch on-line worden gemonitord. Elke 5 minuten zijn de momentane gegevens vastgelegd. De Growlabs met de bijbehorende programmatuur GrowWatch zijn geleverd door Grow@science, die ook zorg droeg voor het dataverkeer.

8 Resultaten praktijkmonitoring Potanthurium

8.1 Opzet en meetprotocol potanthurium

Bij potanthurium zijn gedurende 1 jaar op 2 bedrijven 2 teelten achter elkaar gevolgd. De teelten hebben plaats gevonden in de periode:

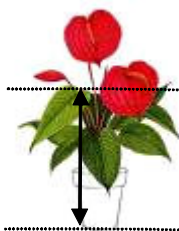
- Teeltronde 1: juli – januari
- Teeltronde 2: februari - augustus

Er zijn 3 rassen (14 cm container) intensief gevolgd, waarvan bij 2 rassen de Growlabs hebben gestaan. Dit zijn:

- 'Red Love'
- 'Rodena'

Daarnaast is ook de gewasontwikkeling van 'Orangina' en 'Limona' vastgelegd. De volgende waarnemingen zijn, tijdens de teelt, verricht aan 2 x 10 planten per partij.

- Planthoogte. Hierbij is de hoogte aangehouden van potrand tot knik blad/steel.
- Plantdoorsnede 1. Hierbij is de langste doorsnee over het hart van de plant aangehouden.
- Plantdoorsnede 2. Deze is haaks gemeten op doorsnee 1.
- Bladafsplitsing. Het aantal nieuw gevormde bladeren is gevolgd.
- Aantal bloemen. Het aantal zichtbare bloemen is geteld.
- Bloemsteellengte. Hierbij is de lengte aangehouden vanaf de potrand tot aan de onderkant van het schutblad.
- Vers- en drooggewicht zijn bepaald. Hierbij zijn de vegetatieve en generatieve delen apart gewogen.
- Uitwendige kwaliteit en wortelvorming zijn beschreven. Eventuele afwijkende groeipatronen zijn daarnaast ook beschreven.
- Regelmatig zijn foto's gemaakt.



Figuur 34 Planthoogte in cm

Naast de gewaswaarnemingen is een logboek bijgehouden met daarin de belangrijkste teelthandelingen en –maatregelen, zoals plantafstand, wijderzetten etc.

8.2 Gewaswaarnemingen teeltronde 1

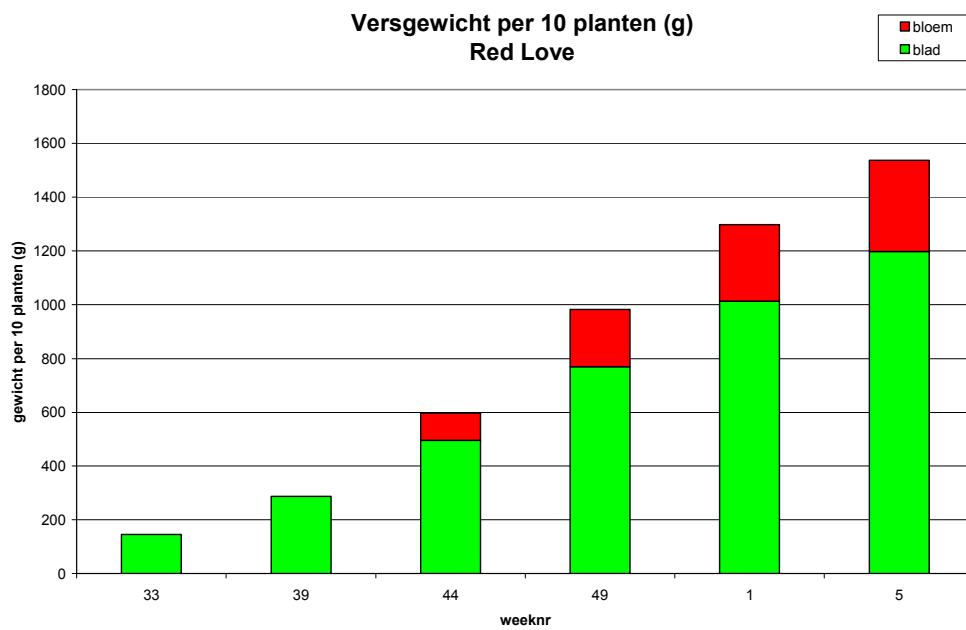
In tabel 4 is het teeltschema met daarbij het aantal planten per m² weergegeven. Tevens is het aantal week.m² bepaald per 1000 planten. De eindbeoordeling van de plantgewichten hebben bij alle partijen op 31 jan (week 5) plaatsgevonden. Tot die tijd hebben de proefpartijen op de bedrijven gestaan.

Tabel 4 Overzicht teeltschema teeltronde 1 (week.m2 per 1000 planten)

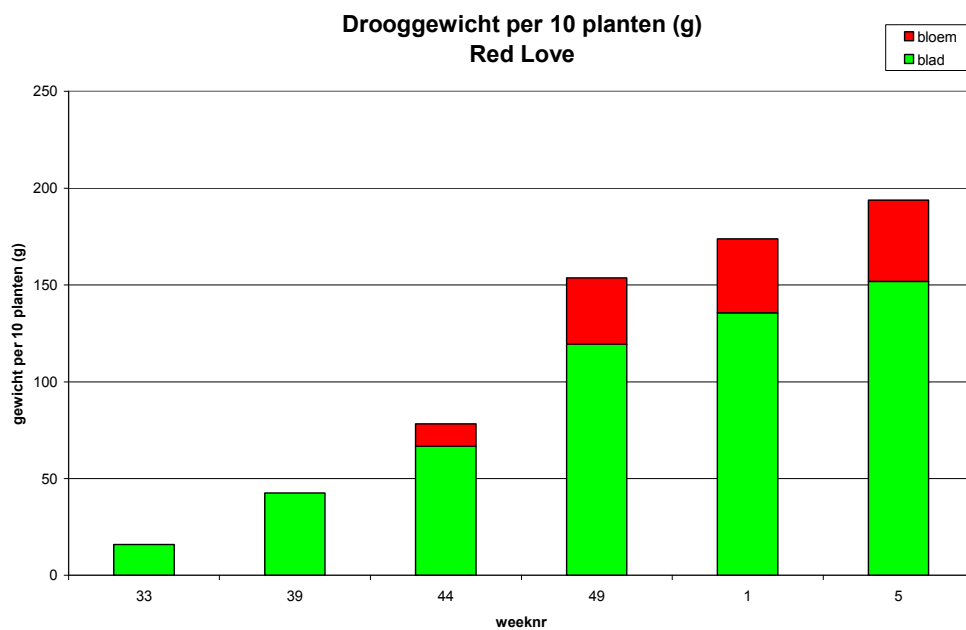
KP Rodena				weken	m2	week.m2
25-07-06	30	nul meting; oppotstand	50.4 planten per m2	7	19.84	138.89
12-09-06	37	uitzet 1	33.6 planten per m2	9	29.76	267.86
13-11-06	46	uitzet 2	23.8 planten per m2	5	42.02	210.08
18-12-06	51	uitzet 3	15.4 planten per m2	4	64.94	259.74
15-01-07	3	eindmeting	15.4 planten per m2			
				25	totaal (wk.m2)	876.57
KP Orangina				weken	m2	week.m2
Groeit veel langzamer, gelijk met Rodena afgesloten, maar plant was nog niet veilingklaar						
25-07-06	30	nul meting; oppotstand	50.4 planten per m2	16	19.84	317.46
15-11-06	46	uitzet 1	33.6 planten per m2	9	29.76	267.86
17-01-07	3	uitzet 2	23.8 planten per m2	2	42.02	84.03
29-01-07	5	eindmeting	15.4 planten per m2			
				27	totaal (wk.m2)	669.35
Rp Red Love				weken	m2	week.m2
14-08-06	33	nul meting; oppotstand	44 planten per m2	6	22.73	136.36
26-09-06	39	uitzet 1	22 planten per m2	10	45.45	454.55
06-12-06	49	uitzet 2	15 planten per m2	8	66.67	533.33
02-02-07	5	eindmeting	15 planten per m2			
				24	totaal (wk.m2)	1124.24

In figuur 35 t/m figuur 38 zijn de plantgewichten (vers- en drooggewicht) weergegeven van 'Red Love' en 'Rodena'. Het droge stof percentage van de planten is bij 'Red Love' gemiddeld 13,5%, bij 'Rodena' 15,3% en bij 'Orangina' 15,4%. Het GrowSense model gaat uit van droge stof aanmaak. In figuur 39 en figuur 40 is de gemiddelde groei in drooggewicht per plant, per week weergegeven van de diverse teeltperiodes. De gemiddelde groeisnelheid bij 'Red Love' is gedurende de gehele teelt 0,74 g droge stof per plant per week. Bij 'Rodena' ligt dit iets hoger namelijk 0,82 g droge stof per week per plant. De verschillen in groeisnelheid zijn echter erg groot in de verschillende teeltfasen geweest.

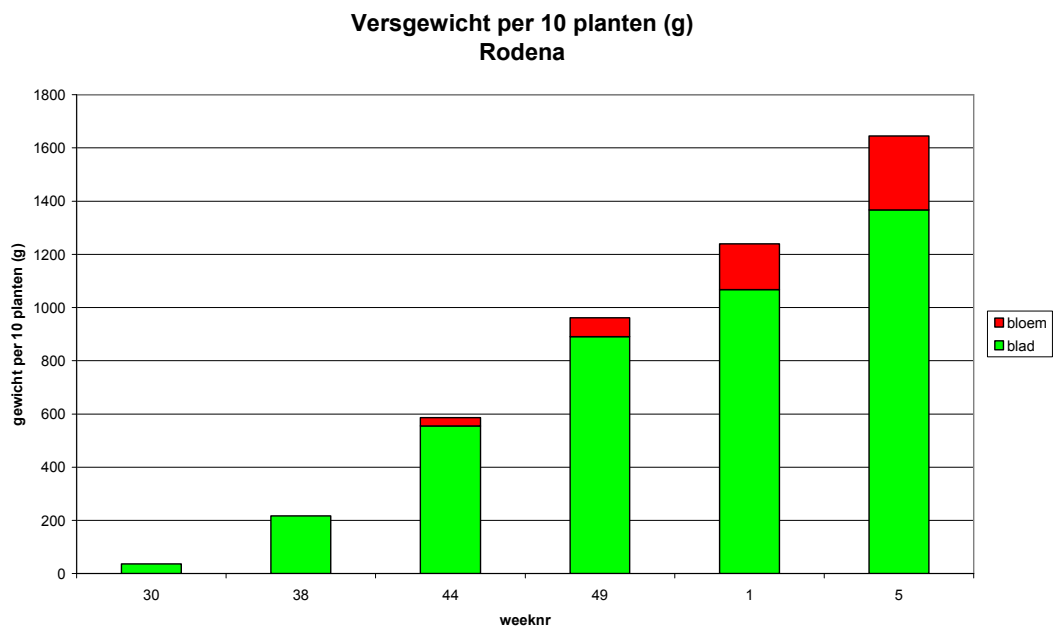
Bij aanvang tot aan de 2^e keer wijderzetten blijkt bij 'Red Love' de groeisnelheid duidelijk toe te nemen. In de laatste teeltfase, na de laatste keer wijder zetten neemt de groeisnelheid duidelijk af, ondanks dat er meer licht in het gewas kan doordringen. Hoogst waarschijnlijk kost het aanleggen en uitgroeien van bloemen veel energie. Bij 'Rodena' is dit minder duidelijk. In de laatste periode neemt zelfs de groeisnelheid per plant toe. Echter de groeitoename in bloei is sterk afgenomen. Dit kan de groeisnelheid in plantgewicht verklaren, mede omdat dit ras al eerder veilingklaar was (ca week 3). Het gewicht van 'Orangina' (Figuur 41) blijft sterk achter met de andere rassen. Dit ras groeit veel langzamer en is ook gelijk met 'Rodena' afgesloten, maar was op dat moment nog niet veilingrijp.



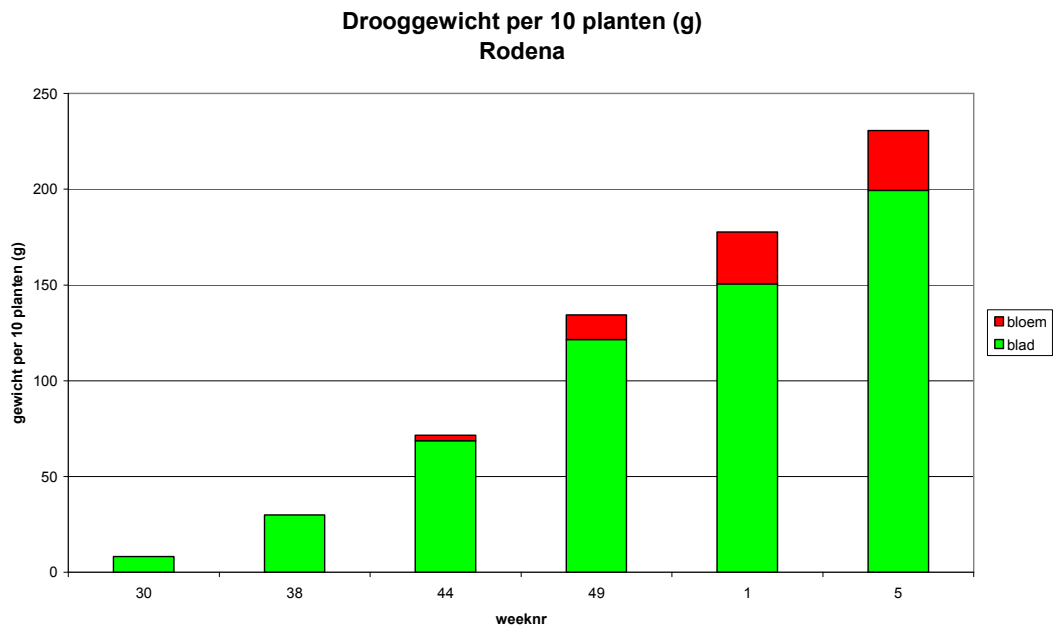
Figuur 35 Versgewicht per 10 planten in g 'Red Love' teeltronde 1



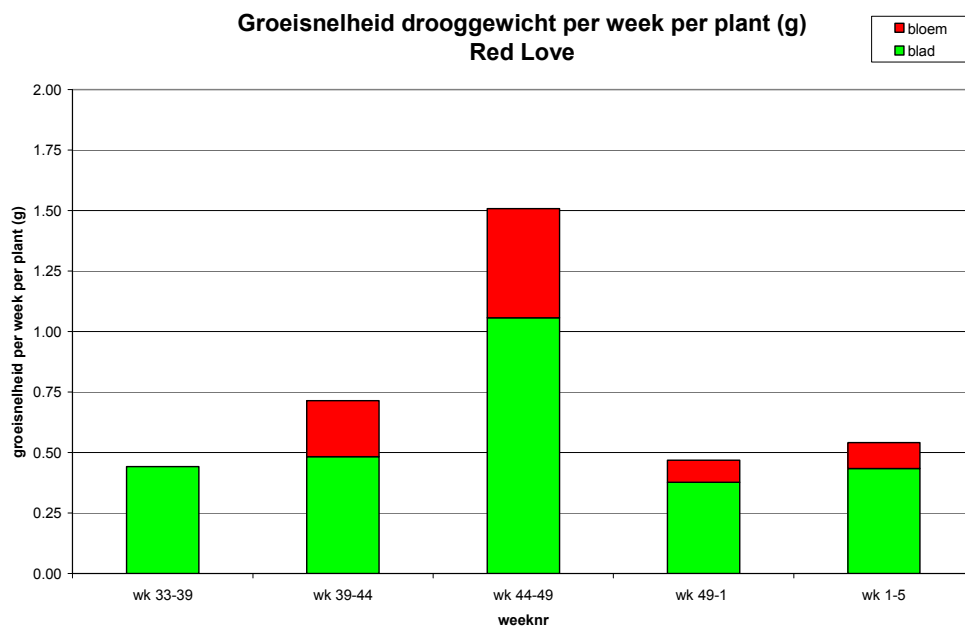
Figuur 36 Drooggewicht per 10 planten in g 'Red Love' teeltronde 1



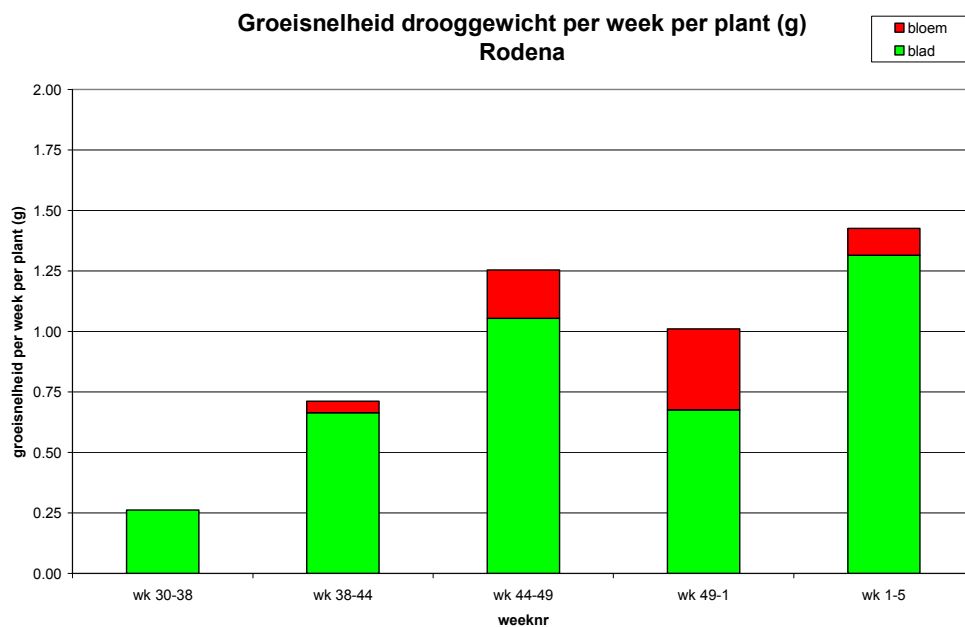
Figuur 37 Versgewicht per 10 planten in g 'Rodena' teeltronde 1



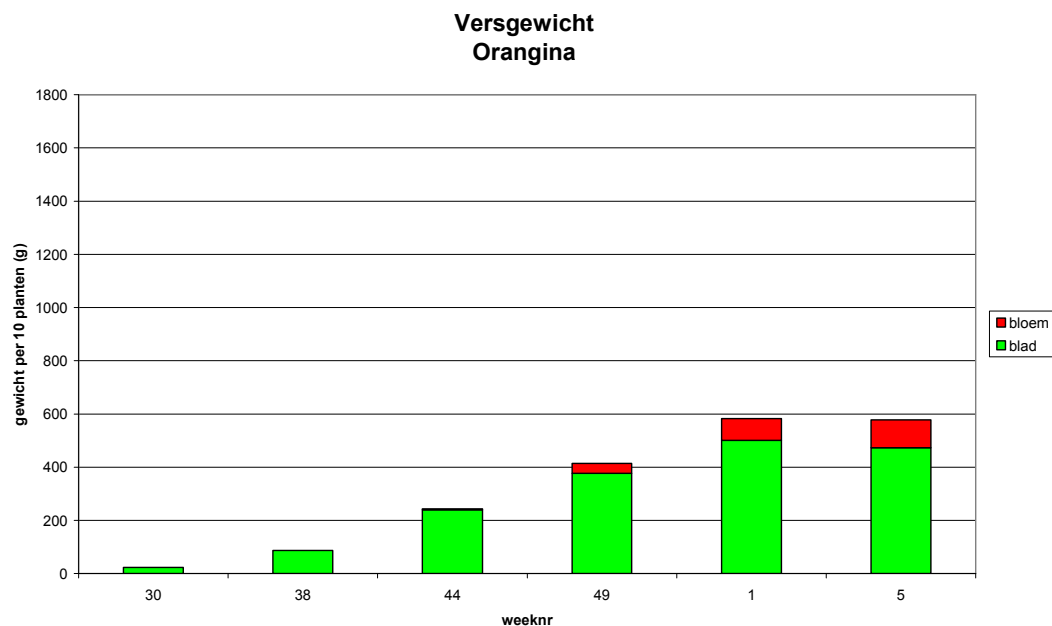
Figuur 38 Drooggewicht per 10 planten in g 'Rodena' teeltronde 1



Figuur 39 Groeisnelheid in drooggewicht per plant per week in g 'Red Love' teeltronde 1



Figuur 40 Groeisnelheid in drooggewicht per plant per week in g 'Rodena' teeltronde 1



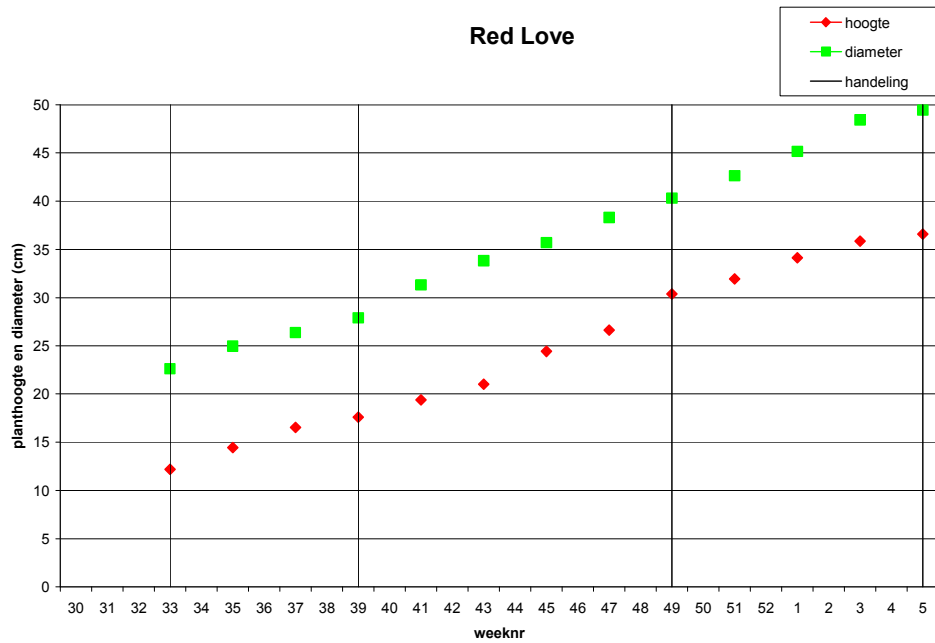
Figuur 41 Versgewicht per 10 planten in g 'Orangina' teeltronde 1

Bij potplanten gaat het niet om het vers- en drooggewicht, maar te meer om de plantonderdelen. De uitwendige kwaliteit bepaald de sierwaarde op het moment van verkoop.

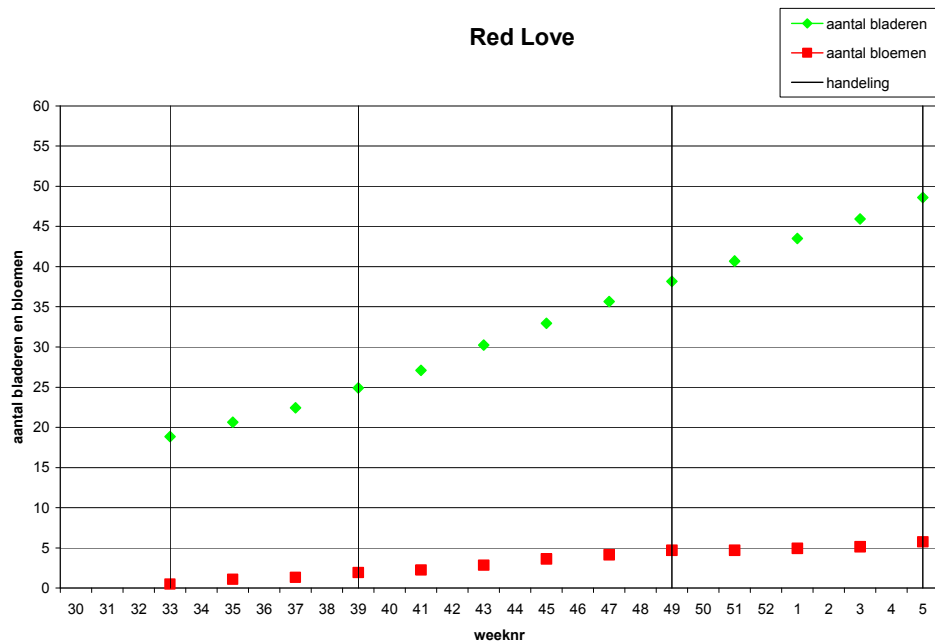
In figuur 42 t/m figuur 47 is per ras de planthoogte, de diameter, aantal bladeren en aantal bloemen weergegeven. Gemiddeld groeien de anthurium ruim 1 cm per week. De plantdiameter neemt iets meer toe per week. Wekelijks worden ca 1,2 tot 1,4 bladeren afgesplitst. In de laatste fase neemt in het algemeen de lengtegroei, diametergroei en bladafplitsing af, ten gunste van bloemaanleg en bloemuitgroei.

Tabel 5 Gemiddelde toename planthoogte, plantdiameter en toename blad per week

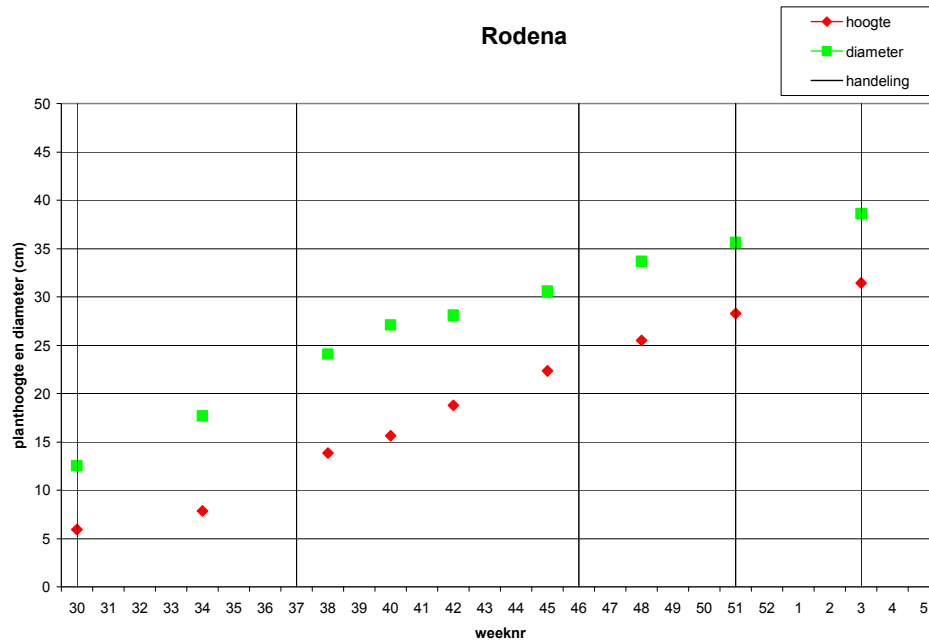
	Red Love	Rodena
Planthoogte (cm)	1.02	1.02
Plantdiameter (cm)	1.12	1.04
Toename bladaantal	1.24	1.39



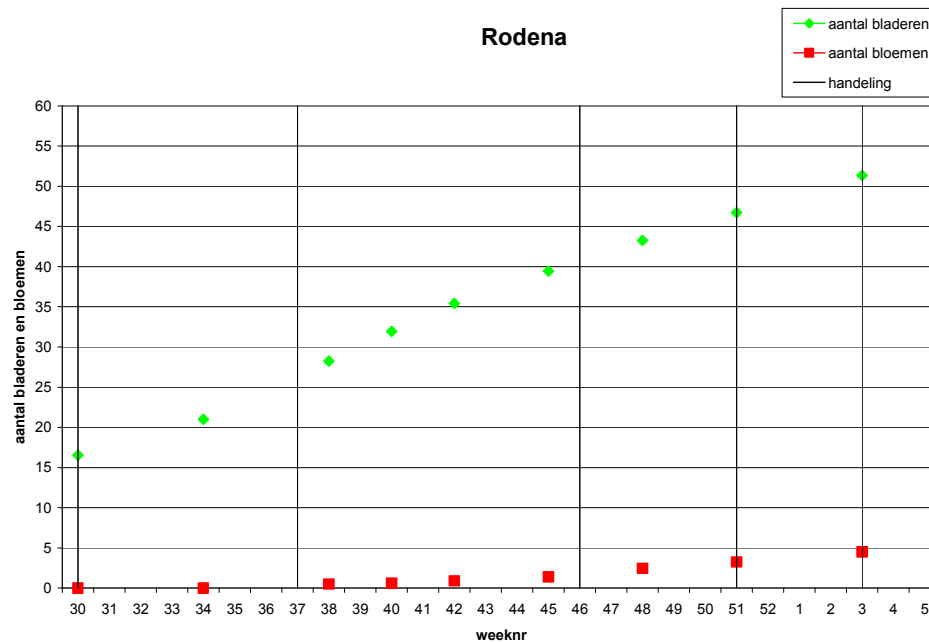
Figuur 42 Planthoogte en diameter (cm) 'Red Love' teeltronde 1



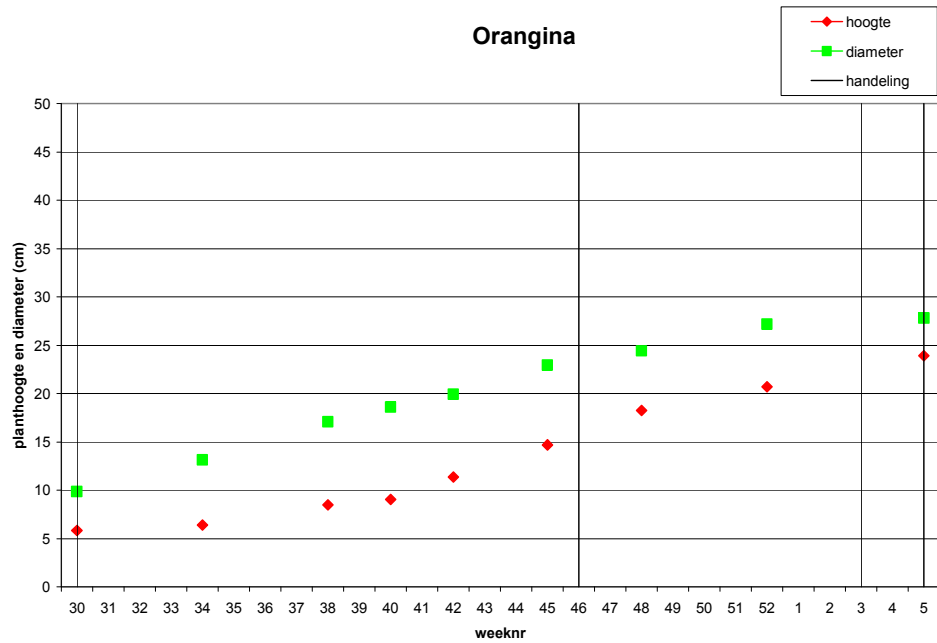
Figuur 43 Aantal bladeren en aantal bloemen 'Red Love' teeltronde 1



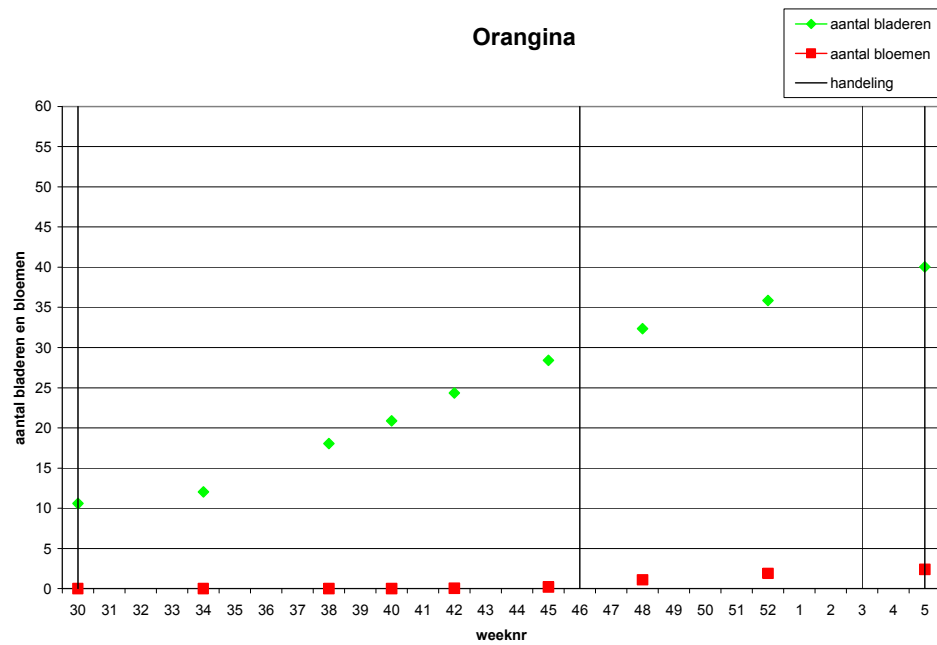
Figuur 44 Planthoogte en diameter (cm) 'Rodena' teeltronde 1



Figuur 45 Aantal bladeren en aantal bloemen 'Rodena' teeltronde 1



Figuur 46 Planthoogte en diameter (cm) 'Orangina' teeltronde 1



Figuur 47 Aantal bladeren en aantal bloemen 'Orangina' teeltronde 1

8.3 Gewaswaarnemingen teeltronde 2

In tabel 6 is het teeltschema met daarbij het aantal planten per m² weergegeven. Tevens is het aantal week.m² bepaald per 1000 planten. De eindbeoordeling van de plantgewichten hebben bij 'Limona' op 1 augustus (week 31), bij 'Rodena' op 15 augustus (week 33) en bij 'Red Love' op 22 augustus (week 34) plaatsgevonden.

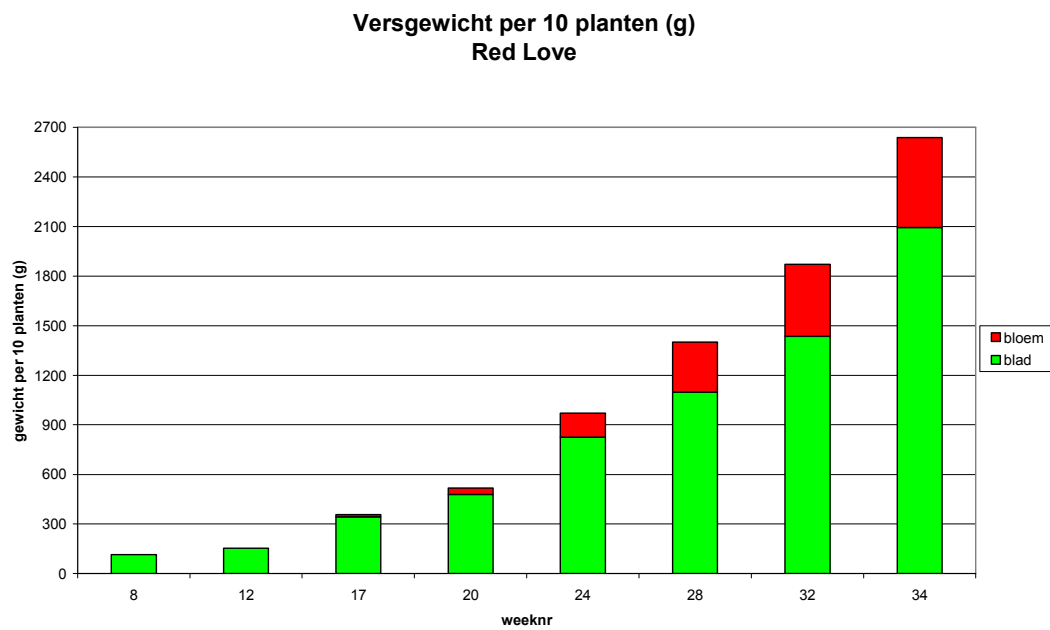
Tabel 6 Overzicht teeltschema teeltronde 2 (week.m2 per 1000 planten)

KP Rodena						weken	m2	week.m2
	week							
15-2-2007	7	nul meting; oppotstand	50.4	planten per m2		6	19.84	119.05
29-3-2007	13	uitzet 1	33.6	planten per m2		6	29.76	178.57
8-5-2007	19	uitzet 2	23.8	planten per m2		8	42.02	336.13
3-7-2007	27	uitzet 3	15.4	planten per m2		6	64.94	389.61
15-8-2007	33	eindmeting	15.4	planten per m2				
						26	totaal (wk.m2)	1023.36
KP Limona						weken	m2	week.m2
	week							
15-2-2007	7	nul meting; oppotstand	50.4	planten per m2		8	19.84	158.73
12-4-2007	15	uitzet 1	33.6	planten per m2		4	29.76	119.05
11-5-2007	19	uitzet 2	23.8	planten per m2		6	42.02	252.10
21-6-2007	25	uitzet 3	15.4	planten per m2		6	64.94	389.61
1-8-2007	31	eindmeting	15.4	planten per m2				
						24		919.49
Rp RedLove						weken	m2	week.m2
	week							
21-02-07	8	nul meting; oppotstand	44	planten per m2		13	22.73	295.45
22-05-07	21	uitzet 1	22	planten per m2		7	45.45	318.18
10-07-07	28	uitzet 2	15	planten per m2		6	66.67	400.00
22-08-07	34	eindmeting	15	planten per m2				
						26		1013.64

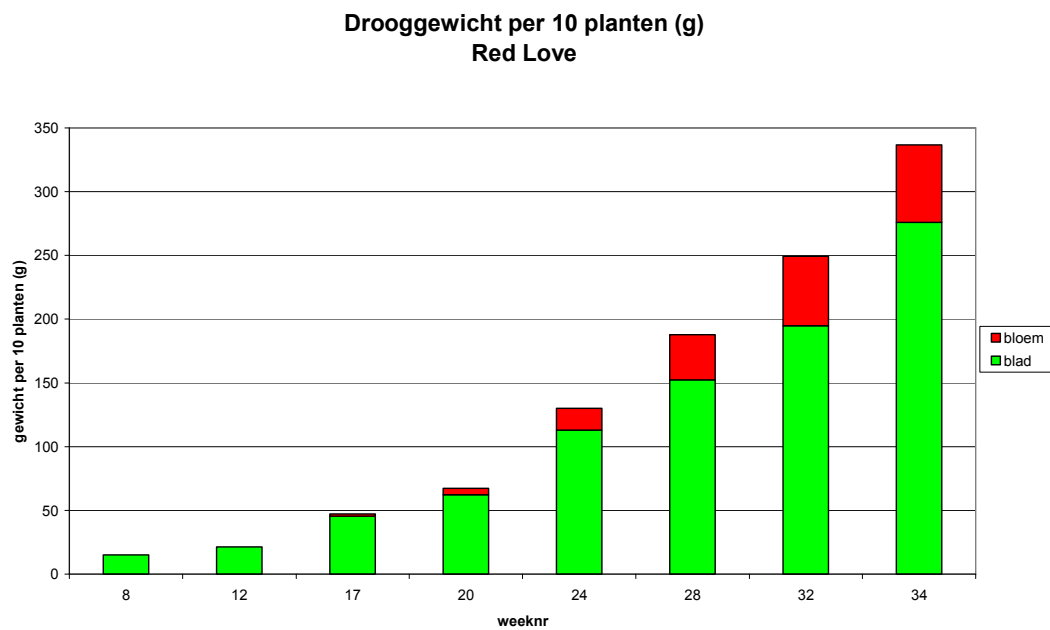
In de figuur 48 t/m figuur 53 zijn de plantgewichten (vers- en drooggewicht) weergegeven van 'Red Love' en 'Rodena'. Het droge stof percentage van de planten is bij 'Red Love' gemiddeld weer 13,5%, bij 'Rodena' 13,9% en bij 'Limona' 15,1%. Het GrowSense model gaat uit van droge stof aanmaak. In figuur 52 en figuur 53 is de gemiddelde groei in drooggewicht per plant, per week weergegeven van de diverse teeltperiodes. De gemiddelde groeisnelheid bij 'Red Love' is gedurende de gehele teelt 1,24 g droge stof per plant per week. Dit is beduidend hoger dan in de najaar/winter teelt. Bij 'Rodena' ligt dit op 0,91 g droge stof per week per plant. In vergelijking met de winterproef is dit wel iets hoger, maar niet zo groot als bij 'Red Love'. De verschillen in groeisnelheid zijn echter erg groot in de verschillende teeltfasen geweest.

Aanvankelijk neemt de groeisnelheid gestaagd toe. Zodra de eerste knoppen zichtbaar worden lijkt deze iets af te nemen. Hoogst waarschijnlijk kost het aanleggen en uitgroeien van bloemen veel energie. Bij beide rassen is de groeisnelheid in de laatste teeltperiode opvallend hoog.

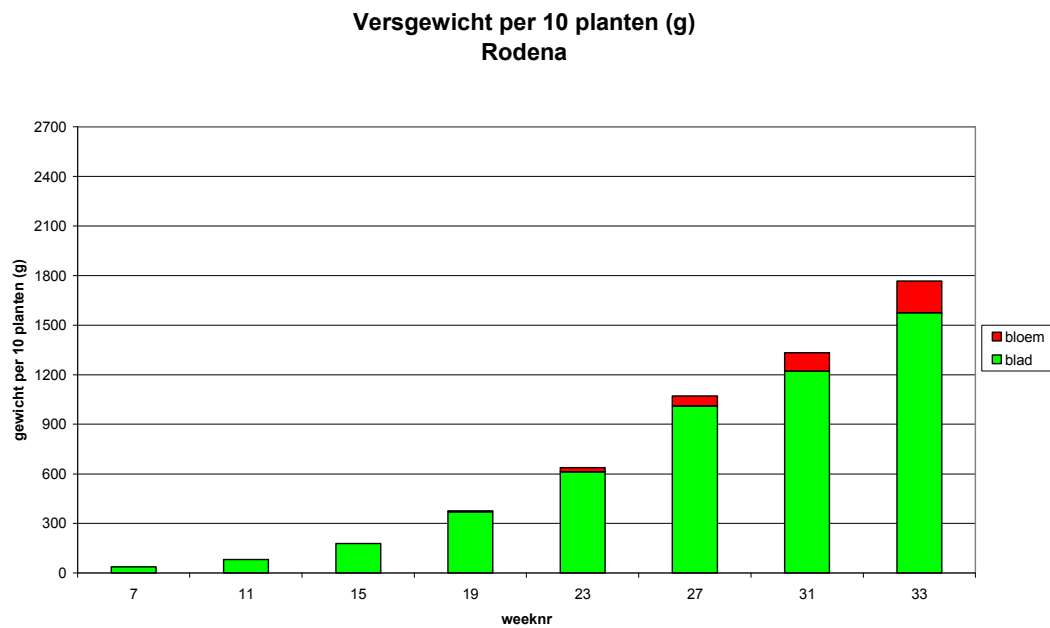
Ook het gewicht van 'Limona' (figuur 54 en figuur 55) blijft sterk achter met de andere rassen. Dit ras groeit duidelijk langzamer.



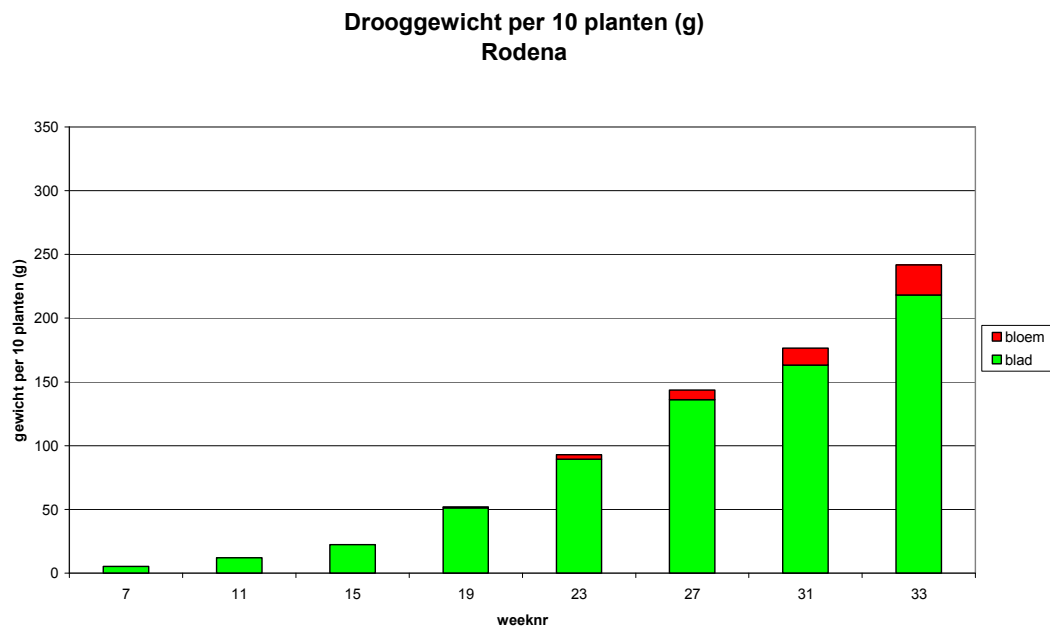
Figuur 48 Versgewicht per 10 planten in g 'Red Love' teeltronde 2



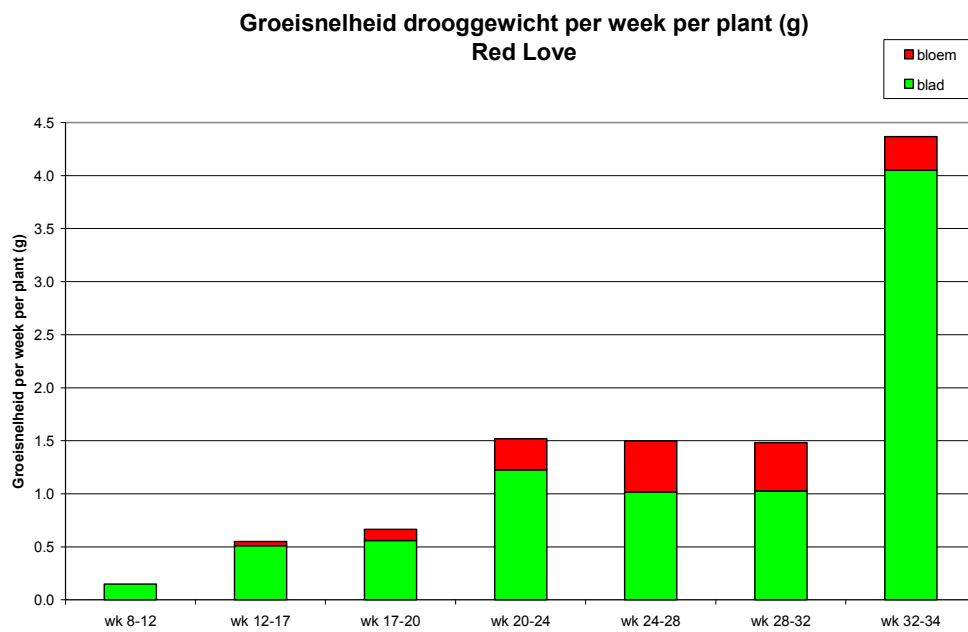
Figuur 49 Drooggewicht per 10 planten in g 'Red Love' teeltronde 2



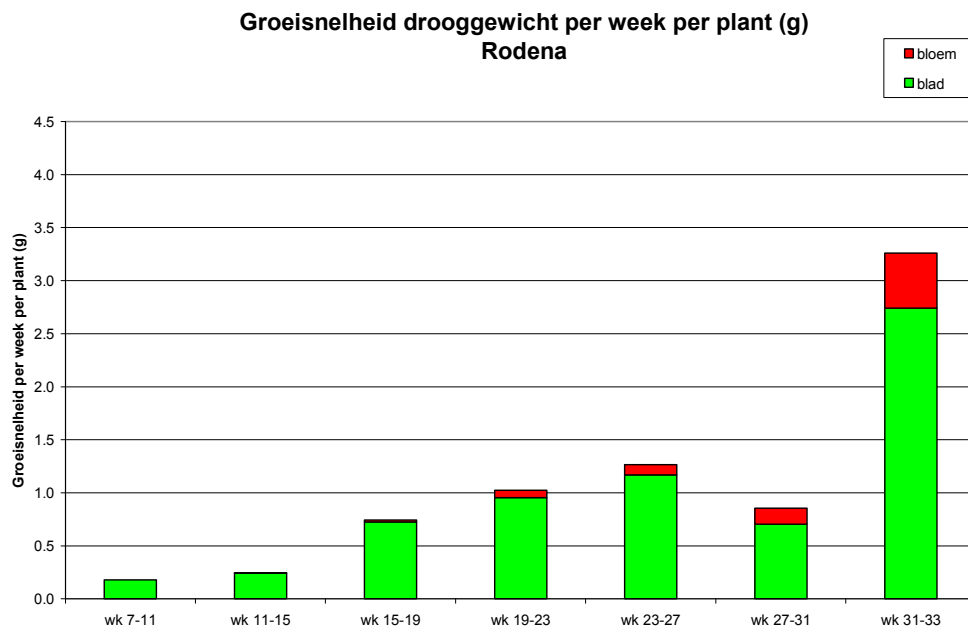
Figuur 50 Versgewicht per 10 planten in g 'Rodena' teeltronde 2



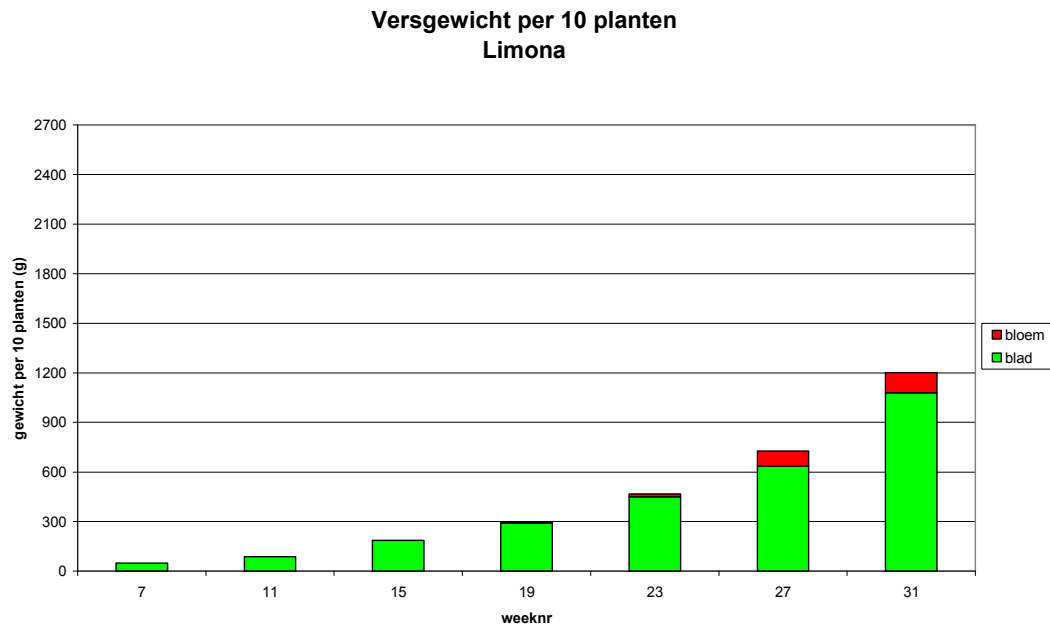
Figuur 51 Drooggewicht per 10 planten in g 'Rodena' teeltronde 2



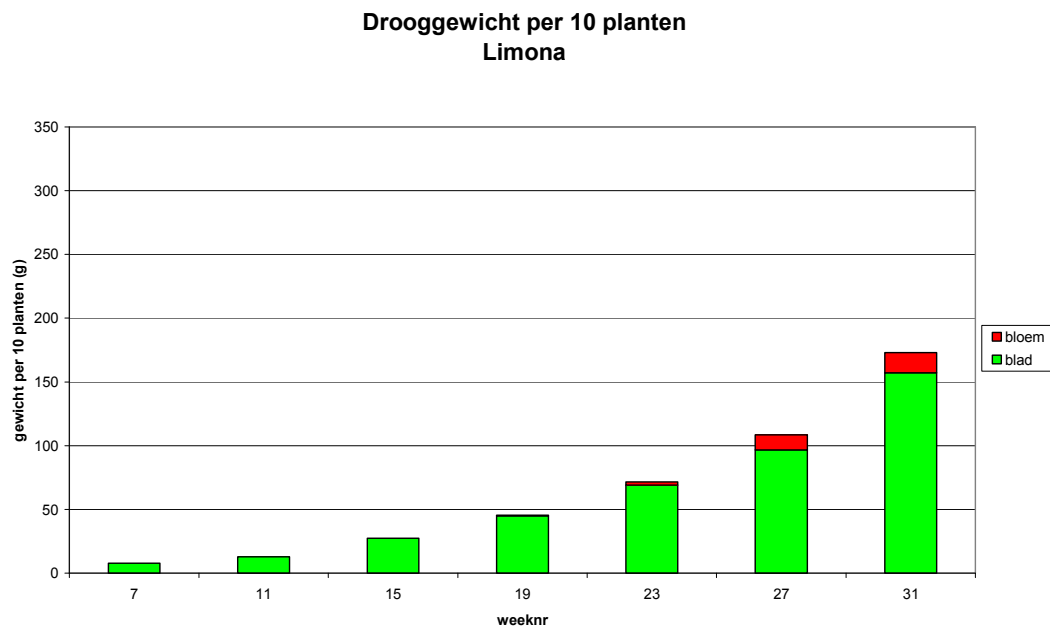
Figuur 52 Groeisnelheid in drooggewicht per plant per week in g 'Red Love' teeltronde 2



Figuur 53 Groeisnelheid in drooggewicht per plant per week in g 'Rodena' teeltronde 2

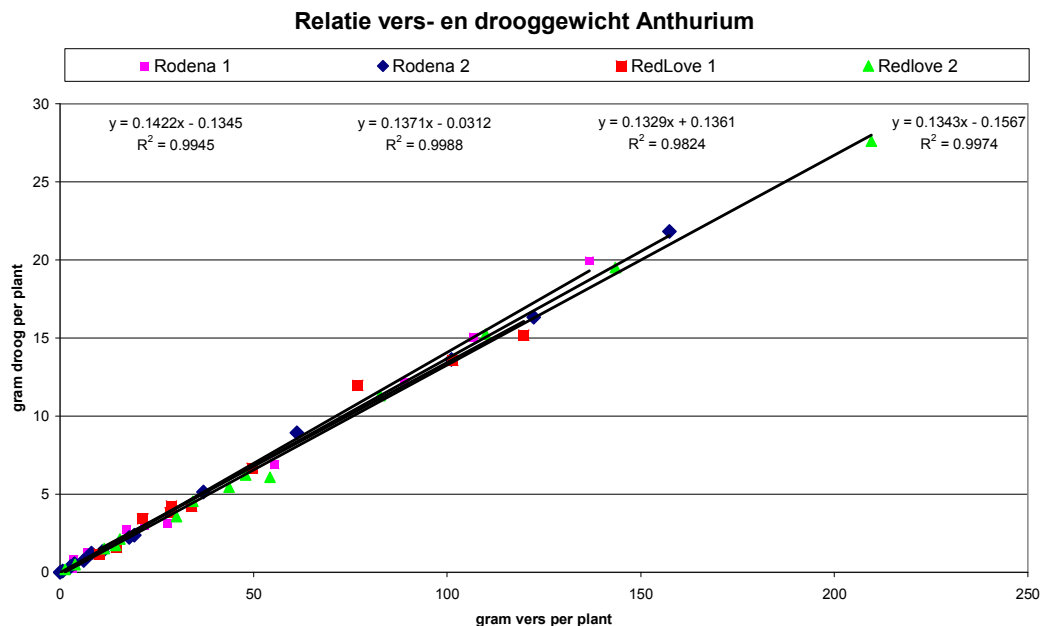


Figuur 54 Versgewicht per 10 planten in g 'Limona' teeltronde 2



Figuur 55 Drooggewicht per 10 planten in g 'Limona' teeltronde 2

Kijkende naar de 2 rassen 'Rodena' en 'Red Love' die nader onderzocht zijn, dan blijkt de relatie tussen vers- en drooggewicht per ras vrij groot. Als voor een ras de relatie bekend is, kan, met behulp van het versgewicht, de droge stofproductie worden ingeschat. Hiermee is de droge stofproductie en de relatie met fotosynthese gemakkelijker in te schatten. Gemiddeld bedraagt het drogestofpercentage tussen ca 12 en 14,5%. Het drogestofpercentage van 'Rodena' ligt iets hoger dan bij 'Red Love'.



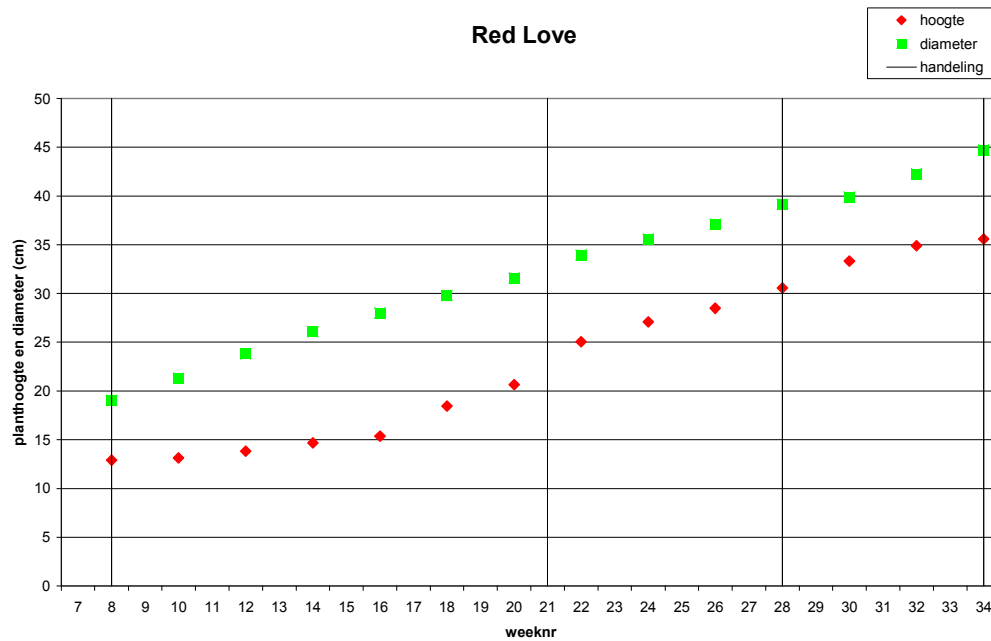
Figuur 56 Relatie vers- en drooggewicht Anthurium

Bij potplanten gaat het niet om het vers- en drooggewicht, maar te meer om de plantonderdelen. De uitwendige kwaliteit bepaald de sierwaarde op het moment van verkoop.

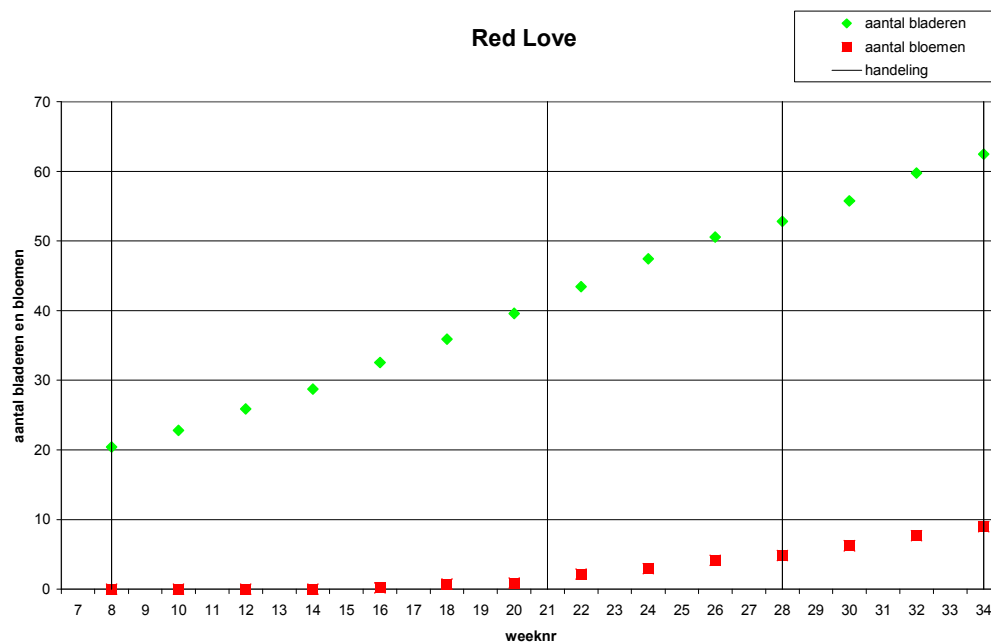
In figuur 57 t/m figuur 62 is per ras de planthoogte, de diameter, aantal bladeren en aantal bloemen weergegeven. Gemiddeld groeien de anthurium 0,9 cm per week. De plantdiameter neemt iets meer toe per week, namelijk 1,0 tot 1,1 cm. Wekelijks worden ca 1,6 tot 2,0 bladeren afgesplitst. In de laatste fase neemt in het algemeen de lengtegroei, diametergroei en bladafplitsing af, ten gunste van bloemaanleg en bloemuitgroei.

Tabel 7 Gemiddelde toename planthoogte, plantdiameter en toename blad per week

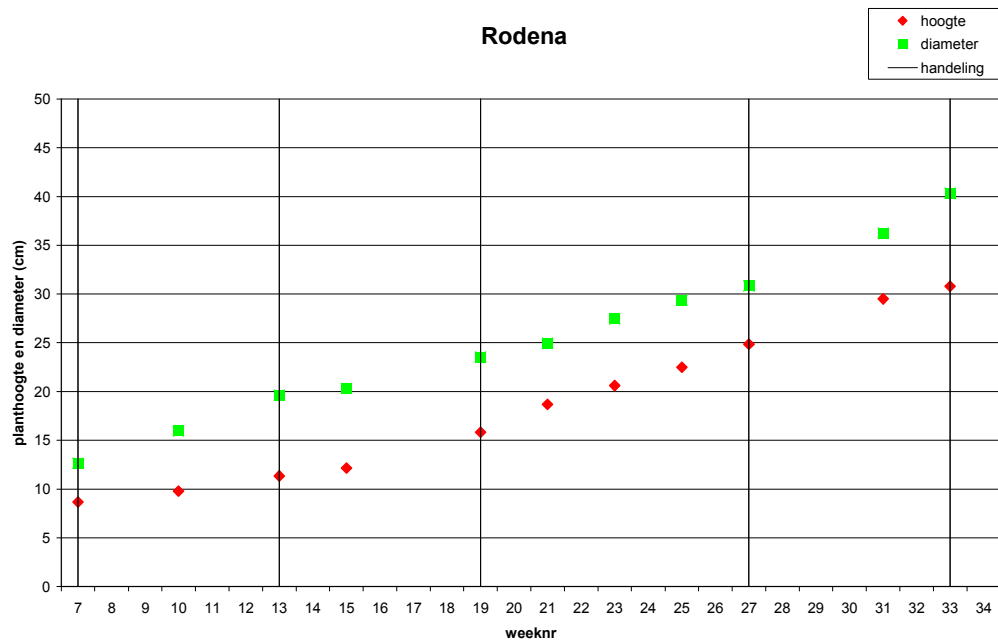
	Red Love	Rodena
Planthoogte (cm)	0.87	0.85
Plantdiameter (cm)	0.99	1.06
Toename bladaantal	1.62	1.95



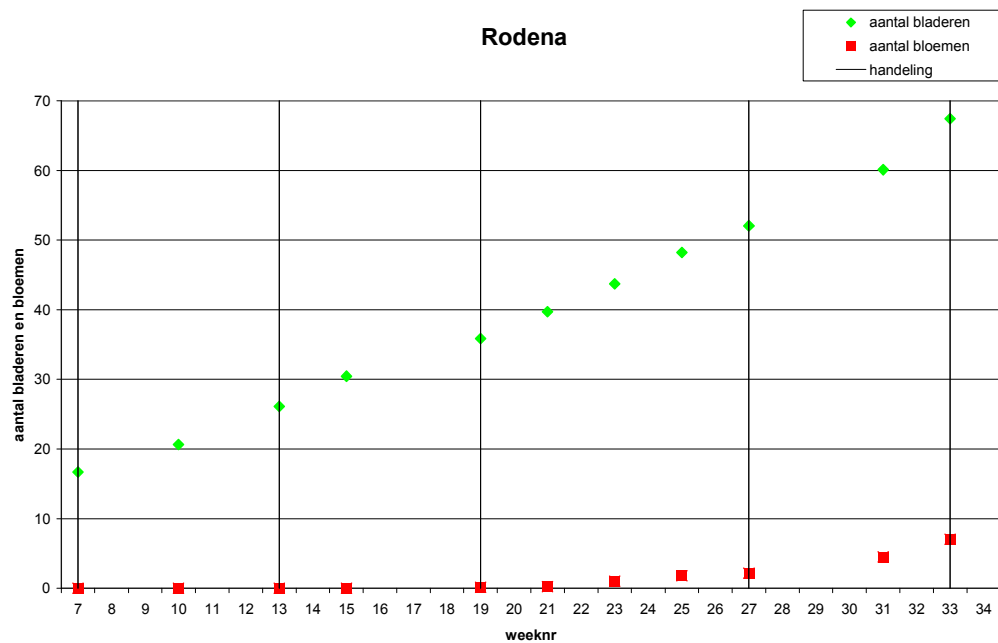
Figuur 57 Planthoogte en diameter (cm) 'Red Love' teeltronde 2



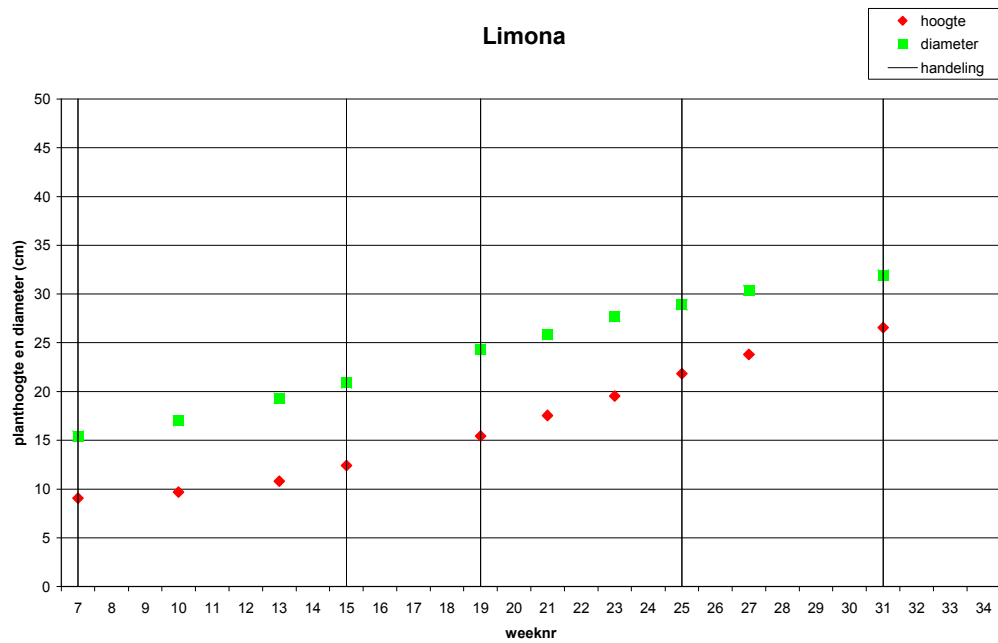
Figuur 58 Aantal bladeren en aantal bloemen 'Red Love' teeltronde 2



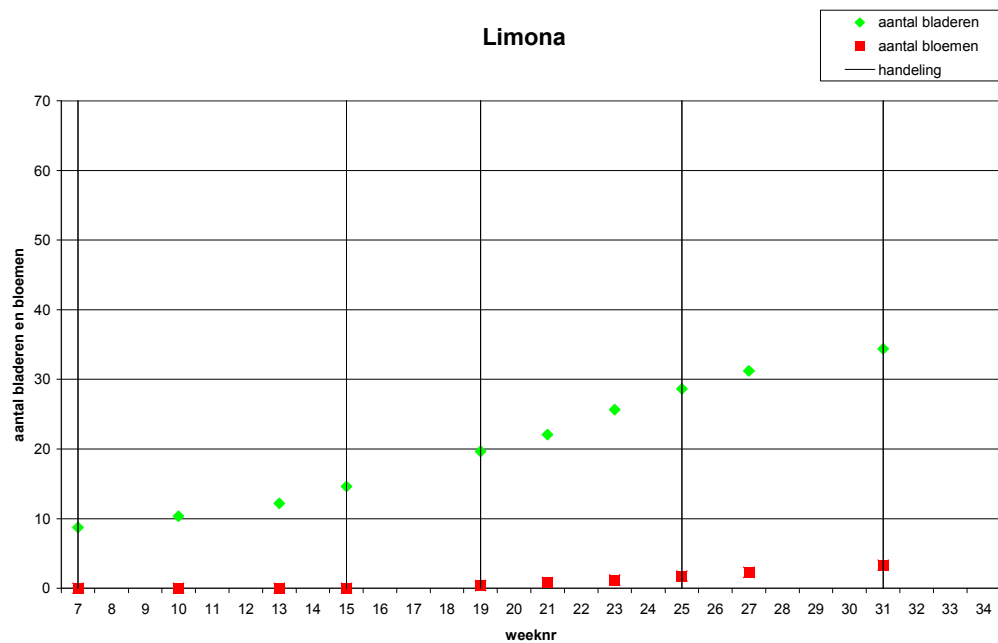
Figuur 59 Planthoogte en diameter (cm) 'Rodena' teeltronde 2



Figuur 60 Aantal bladeren en aantal bloemen 'Rodena' teeltronde 2



Figuur 61 Planthoogte en diameter (cm) 'Limona' teeltronde 2



Figuur 62 Aantal bladeren en aantal bloemen 'Limona' teeltronde 2

8.4 Klimaat- en growlab waarnemingen

Tijdens de monitoringsperiode zijn veel gegevens verzameld. De verzameling van de gegevens vond plaats met de growlab die in het gewas opgesteld stond.

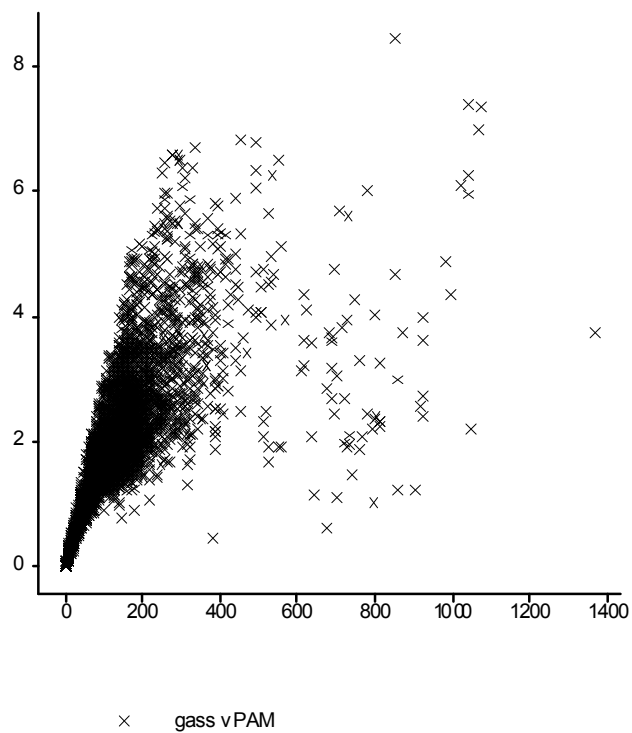


Figuur 63 Proefopstelling Growlab in Anthurium

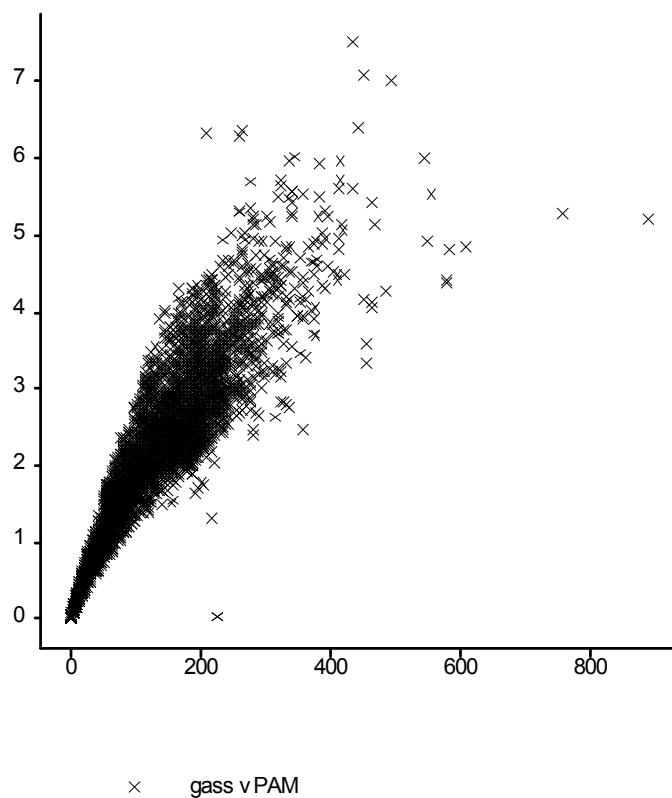
Periodiek zijn de gegevens nader geanalyseerd met o.a. multiple regressie analyse. Hierbij een aantal resultanten van deze analyses. De assimilatie hangt in bepaalde periodes o.a. sterk samen met:

- PAR-licht
- CO₂
- RV
- VPD
- Planttemperatuur
- Kasttemperatuur

In figuur 64 is de relatie tussen PAR licht en de assimilatie zichtbaar. Bij toename van het PAR-licht, mag verwacht worden dat de assimilatie toeneemt. Dit is ook met name bij de lage lichtintensiteiten zichtbaar. Echter in een aantal gevallen blijft de assimilatie achter ondanks een hoog lichtniveau. Dit komt omdat dan andere teeltfactoren in het minimum zijn. Een oorzaak kan mogelijk zijn dat de huidmondjes gesloten zijn. Dit kan gebeuren wanneer de VPD zeer hoog is. Om te voorkomen dat de plant meer vocht verdampt dan er opgenomen kan worden sluit de plant als reactie daarop de huidmondjes om zichzelf te beschermen. Gevolg hiervan is dat de CO₂ opname op dat moment ook sterk geremd wordt. In Figuur 65 is ook de relatie tussen het PAR-licht en assimilatie weergegeven, maar dan in een meetperiode zonder sterk beperkende factoren. Onder invloed van het PAR-licht stijgt de assimilatie. De instraling is dan ook de motor van het assimilatie proces. De lijn zal echter wel afvlakken door een lagere lichtefficiëntie bij hogere lichtniveaus (wet van de afnemende meeropbrengst).



Figuur 64 Relatie assimilatie met de PAR PAM



Figuur 65 Relatie assimilatie met de PAR PAM

De NPQ (Non Photochemical Quenching) ofwel licht belasting of plantenstress hangt o.a. samen met:

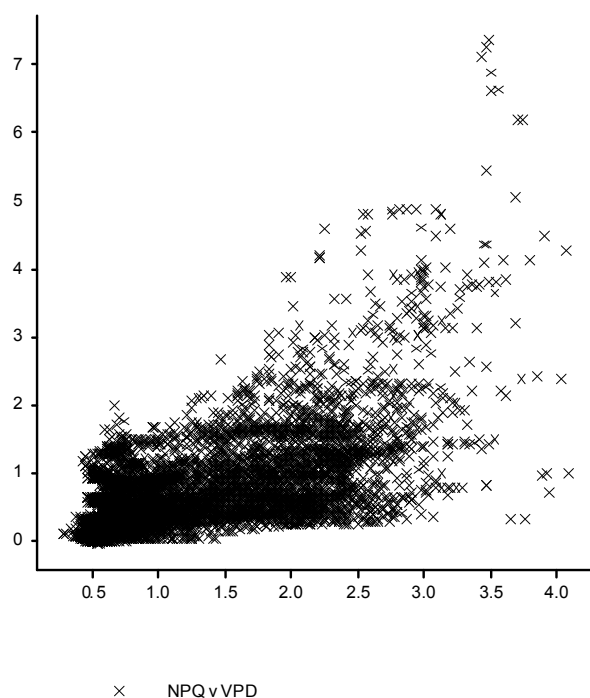
- VPD
- RV
- Kastemperatuur
- Planttemperatuur
- PAR-licht

De eerst volgende grafiek geeft aan dat wanneer de VPD toeneemt de NPQ stijgt (Figuur 66). Vooral bij hoge VPD kan de NPQ sterk toenemen. Als dit langdurig aanhoudt kan er sprake zijn van niet omkeerbare stress.

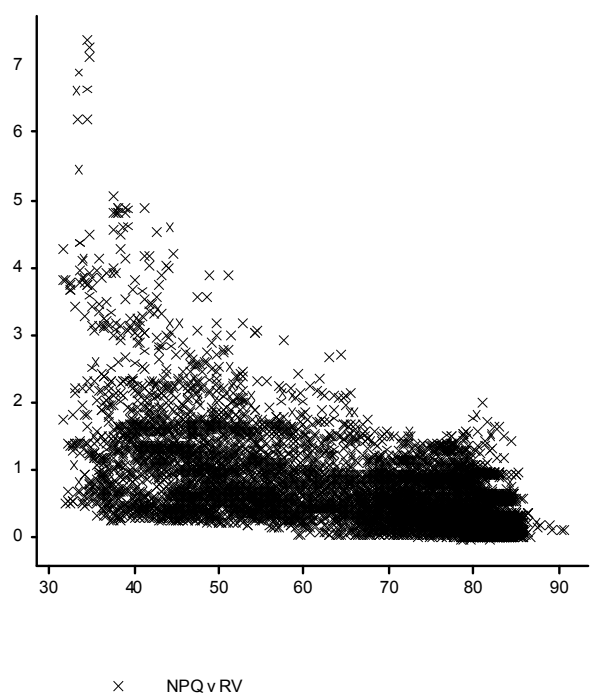
De VPD wordt mede berekend aan de hand van de RV en de planttemperatuur. Ook bij een lage RV neemt de NPQ toe. Boven de 70% RV is de NPQ grotendeels onder de 1,2 en is de plantenstress binnen de kritische grens (Figuur 67).

Onder invloed van een hoge tempratuur ($>25^{\circ}\text{C}$) stijgt de NPQ (Figuur 68) ook duidelijk op een aantal momenten. Op die momenten neemt de plantenstress dus toe. Hieruit blijkt dus ook het belang om de maximum temperatuur in de ruimte te beperken. Langdurig een hoge NPQ is nadelig voor het gewas. Ten aanzien van de planttemperatuur is de relatie vergelijkbaar met de ruimte temperatuur (Figuur 69). Ook hier is de stijging in NPQ zichtbaar vanaf 25°C graden.

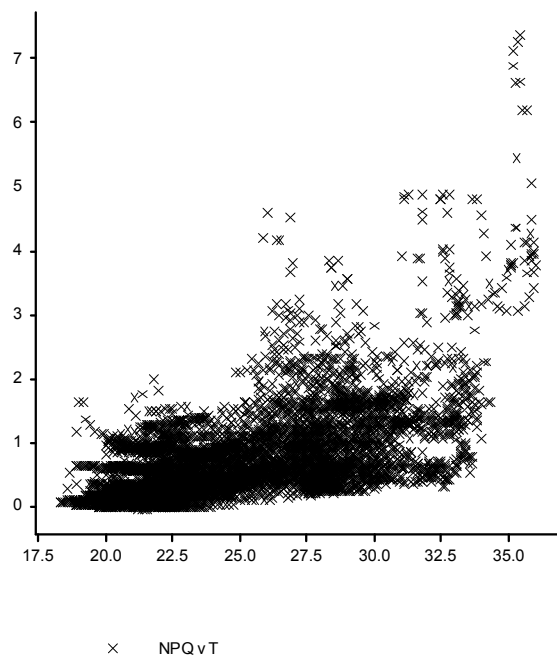
Het verband tussen NPQ en het PAR PAM-licht is te zien in Figuur 70 en 71. Onder de $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ is het aantal momenten zonder stress zeer groot, terwijl daarboven er veelal sprake is van plantenstress.



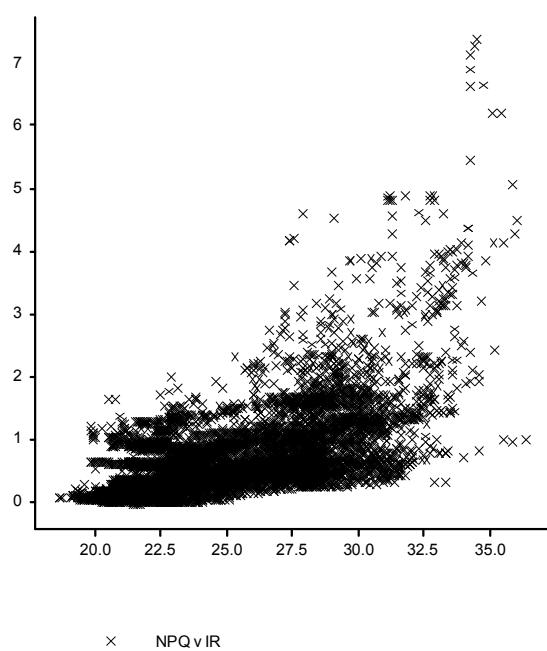
Figuur 66 Relatie NPQ met de VPD



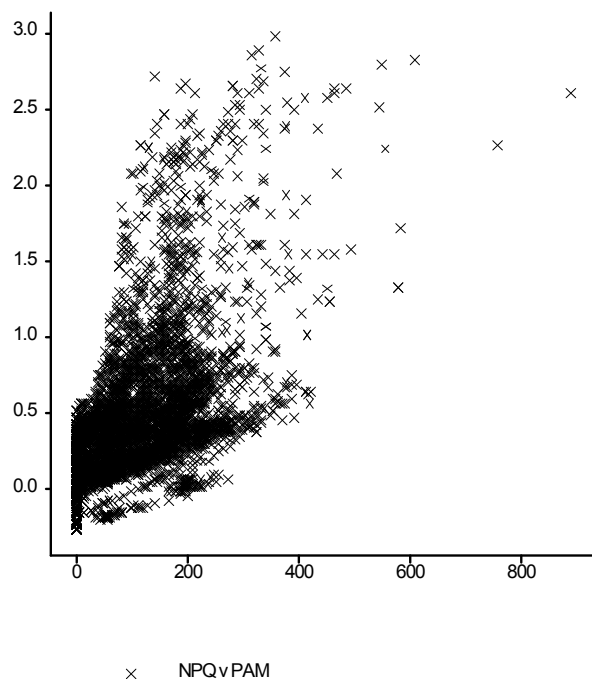
Figuur 67 Relatie NPQ met de RV



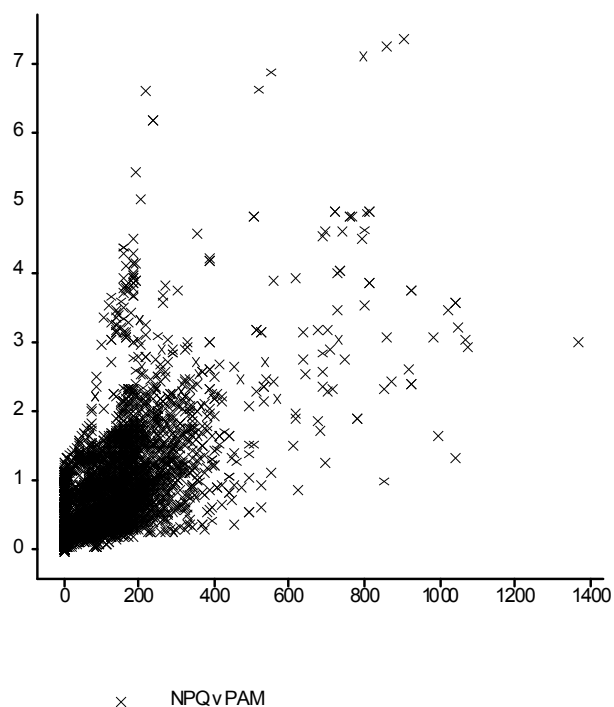
Figuur 68 Relatie NPQ met de temperatuur



Figuur 69 Relatie NPQ met de planttemperatuur

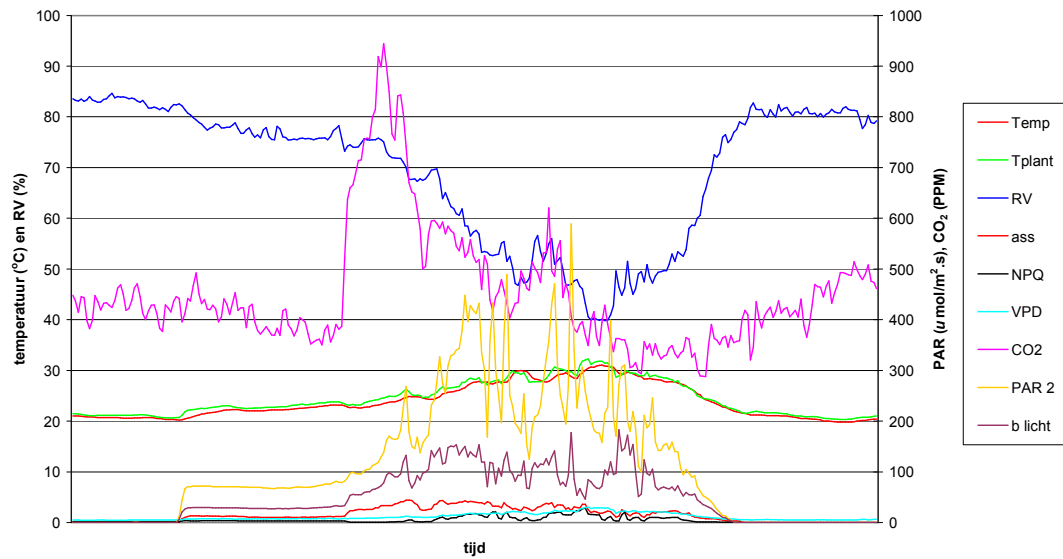


Figuur 70 Relatie NPQ met de PAR-PAM periode 1



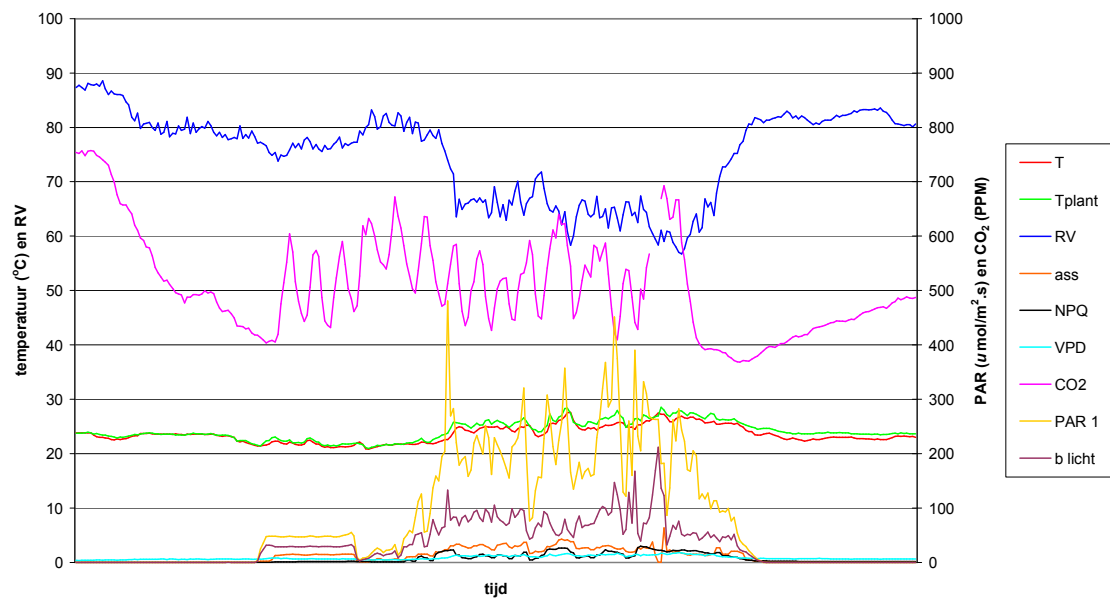
Figuur 71 Relatie NPQ met PAR-PAM periode 2

Situatie A



Figuur 72 Situatie A

situatie B



Figuur 73 Situatie B

In voorgaande figuren is de situatie weergegeven op de 2 Anthurium bedrijven op 26 september. In de ochtend is de assimilatie van de planten op bedrijf A hoog. De overige omstandigheden zijn gunstig. Er is geen stress, de NPQ is dan ook laag (Figuur 72) tot het moment dat de PAR boven de $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ stijgt. Op dit moment stijgt de NPQ ook direct. Later op de dag blijft de NPQ redelijk hoog (boven de 1). De RV zakt behoorlijk en de planttemperatuur loopt op onder invloed van de hoge instraling. De VPD neemt ook toe. Bij anthurium is een zogenoemde middagdepressie bekend. Als reactie op de lage RV c.q. toenemende VPD worden de huidmondjes gesloten. Op dat moment neemt de assimilatie af en de NPQ stijgt. In situatie B (Figuur 73) blijft de RV op een hoger niveau door luchtbevochtiging en is er minder sprake van een middagdepressie.

9 Resultaten praktijkmonitoring Kalanchoe

9.1 Opzet en meetprotocol Kalanchoe

Bij Kalanchoe zijn gedurende 1 jaar op 2 bedrijven 4 tot 5 teelten achter elkaar per bedrijf gemonitord bij 2 rassen. De teelten hebben plaats gevonden in de periode:

- Bedrijf 1: 'Don Juan' en 'Frederique'
 - Juli – september (1)
 - September – december (2)
 - December – februari (3)
 - Februari – april (4)
 - April – Juni (5)
- Bedrijf 2: 'Bromo' en 'Juventa'
 - September – december (1)
 - December – maart (2)
 - Maart – mei (3)
 - Juni - juli (4)

Bij 2 rassen (1 ras per bedrijf) hebben de Growlabs gestaan. Dit zijn:

- 'Don Juan'
- 'Juventa'

Op bedrijf 1 is gemeten vanaf start van de korte dag periode (KD). Op bedrijf 2 is gemeten vanaf onbeworteld stek.

De volgende waarnemingen zijn, tijdens de teelt, verricht aan 2 x 10 planten per partij.

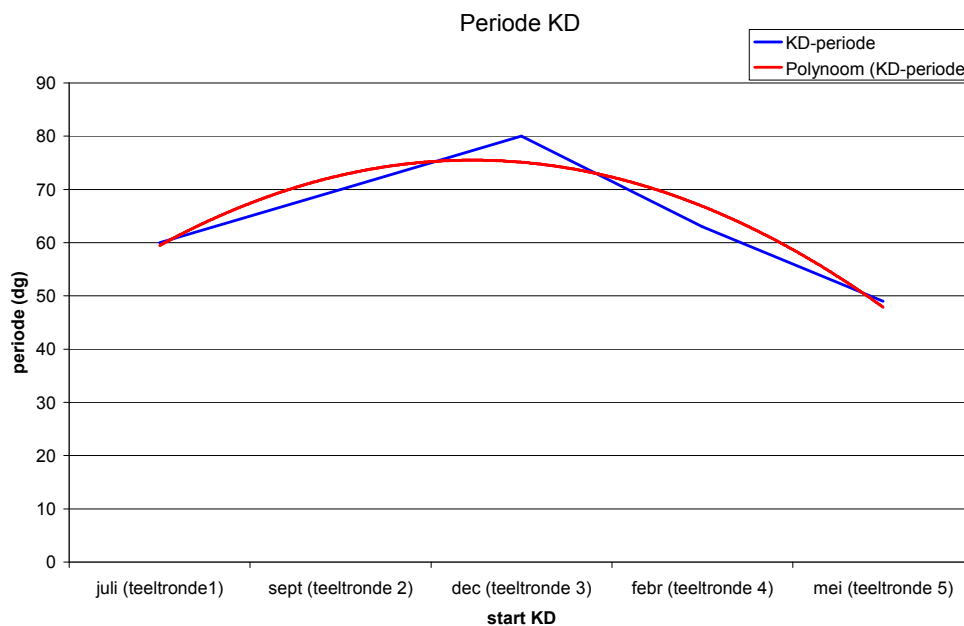
- Planthoogte. Hierbij is de hoogte aangehouden van onderkant pot tot groeipunt. Pothoogte was 8 cm voor de 10,5 cm ø pot en 8,5 cm voor de 12 cm ø pot.
- Plantmateriaal is per ras beschreven, daarbij is o.a. de mate van scheutvorming vastgelegd.
- Bladafsplitsing. Het aantal nieuw gevormde bladeren is gevolgd.
- Het knopstadium van de hoofdknop is vastgelegd.
- Vers- en drooggewicht zijn bepaald. Hierbij zijn de vegetatieve en generatieve delen apart gewogen.
- Uitwendige kwaliteit en wortelvorming zijn beschreven. Eventuele afwijkende groeipatronen zijn daarnaast ook beschreven.
- Regelmatig zijn foto's gemaakt.

Naast de gewaswaarnemingen is een logboek bijgehouden met daarin de belangrijkste teelthandelingen en –maatregelen, zoals start KD, plantafstand, wijderzetten etc.

9.2 Gewaswaarnemingen bedrijf 1

Op bedrijf 1 zijn 5 teeltrondes gevolgd vanaf start KD tot aan afleveren. Er is geteeld in een 12 cm pot. De plantafstand bedroeg gedurende de gehele KD periode 35 planten per m². In tabel 8 zijn de teeltschema's weergegeven met een groot deel van de gewaswaarnemingen.

De KD periode (= start KD tot aan veilingrijp) is duidelijk verschillend per teeltronde en loopt uiteen van 49 naar 80 dagen. Deze periode is sterk seizoensafhankelijk zoals blijkt uit figuur 74.



Figuur 74 Teeltperiode KD in dagen per teeltronde bedrijf 1

In figuur 76 is de plantlengte (incl. pot) van de diverse teeltrondes per ras weergegeven. Op de x-as is de tijd in dagen vanaf start KD weergegeven. De eindlengtes varieerden tussen 23,2 en 28,2 cm. De gemiddelde lengtegroei per week varieert tussen de 1,20 en 2,04 cm per week. Er zijn duidelijke verschillen tussen de rassen en tussen de teeltperiodes. De gemiddelde lengtegroei per week is weergegeven in figuur 77.



Figuur 75 Don Juan



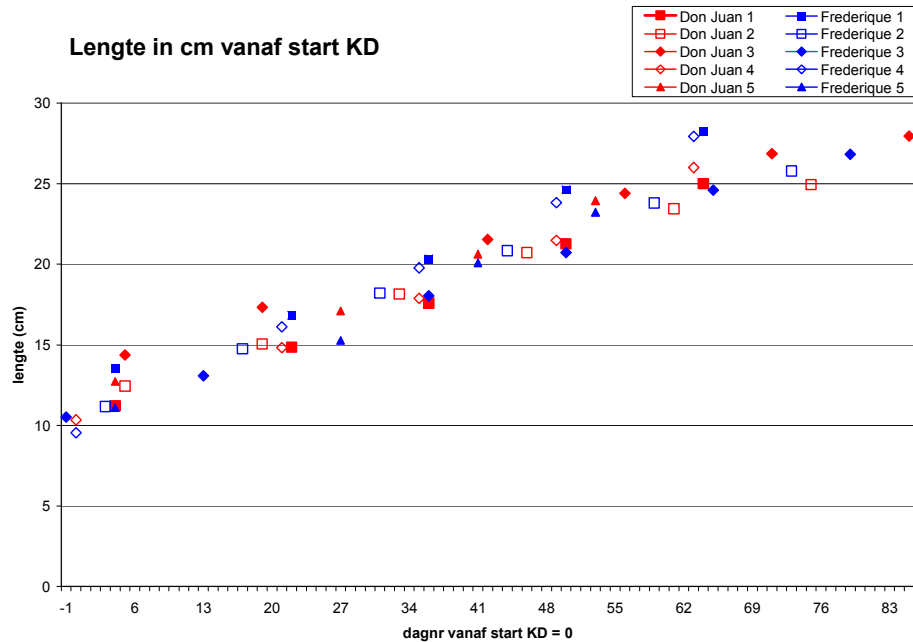
Frederique

- Gemiddelde lengtegroei per week bij veel licht:
 - Don Juan: 1,65 cm
 - Frederique: 1,83 cm
- Gemiddelde lengtegroei per week bij weinig licht:
 - Don Juan: 1,23 cm
 - Frederique: 1,45 cm

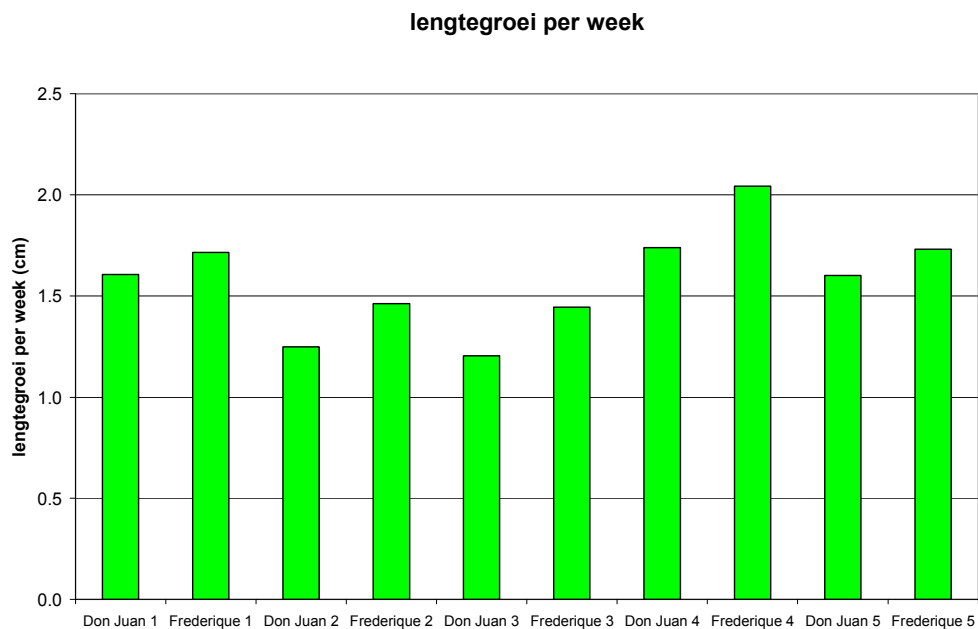
De bladafplitsing in de KD is bij Kalanchoe meer afhankelijk van het ras en minder van de teeltperiode. De gemiddelde bladafplitsing in de KD fase is bij 'Don Juan' ca. 3,2 bladparen en bij 'Frederique' ca. 4,0 bladparen.

Tabel 8 Gegevens teeltrondes Kalanchoe bedrijf 1

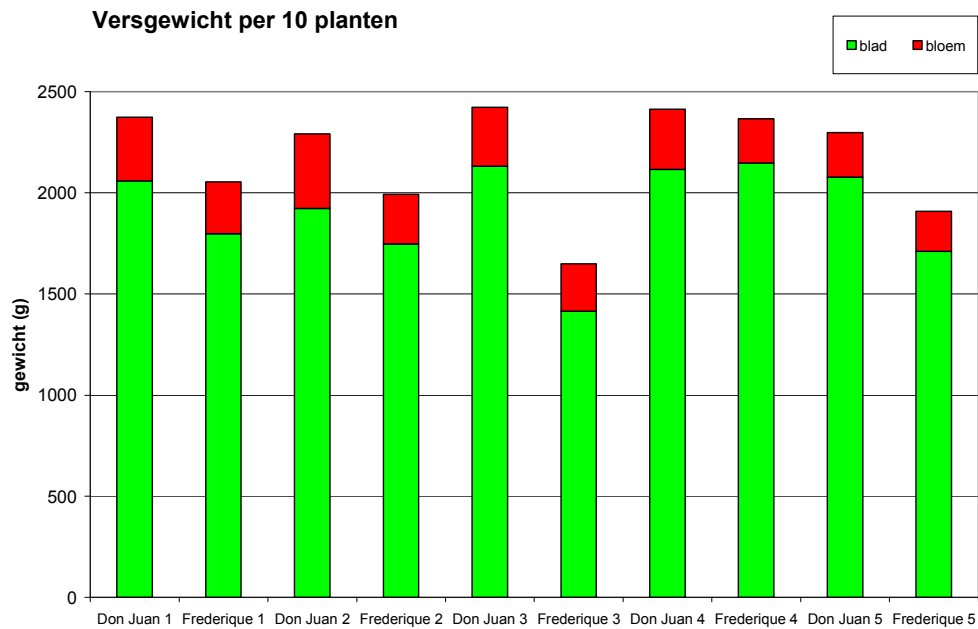
Bedrijf 1		Vanaf aanvang start KD									
Ronde 1		start KD									
		24-7-2006	28-7-2006	15-8-2006	29-8-2006	12-9-2006	26-9-2006		lengtegroei	lengtegroei/wk	
dagnr		0	4	22	36	50	64				
Lengte meting (cm)	Don Juan	24-7-2006	11.22	14.86	17.59	21.27	25.00		13.78	1.61	
	Frederique	24-7-2006	13.52	16.84	20.33	24.63	28.23		14.71	1.72	
Bladafplitsing	Don Juan		*	6.15	7.60	9.40	9.40				
Cumulatief	Frederique		*	7.75	9.35	11.30	11.30				
Ontwikkelingsstadium	Don Juan		0.0	0.0	6.0	8.0	11.0				
	Frederique		0.0	0.0	6.0	7.0	9.0				
versgewicht (g)	Don Juan		266.70	*	1688.85	*	2059.10	blad	bloem	totaal	groei/wk
per 10 planten	Frederique		318.35	*	1508.40	*	1797.95		255.40	2053.35	
groei per wk (g)	Don Juan				31.11		9.26			17.15	24.59
per plant	Frederique				26.03		7.24			13.62	20.24
drooggewicht (g)	Don Juan		13.30	*	73.95	*	87.60		25.25	112.85	
per 10 planten	Frederique		12.95	*	51.70	*	83.60		18.70	102.30	
groei per wk (g)	Don Juan				1.33		0.34			0.97	1.16
per plant	Frederique				0.85		0.80			1.27	1.04
drogestof%	Don Juan		4.97	*	4.38	*	4.25		8.00		
	Frederique		4.08	*	3.43	*	4.66		7.32		
Ronde 2											
dagnr		22-9-2006	26-9-2006	10-10-2006	24-10-2006	6-11-2006	21-11-2006	5-12-2006	lengtegroei	lengtegroei/wk	
		0	4	18	32	45	60	74			
Lengte meting (cm)	Don Juan	21-9-2006	12.45	15.05	18.15	20.72	23.44	24.95		12.50	1.25
	Frederique	23-9-2006	11.16	14.76	18.21	20.84	23.81	25.79		14.63	1.46
Bladafplitsing	Don Juan		6.10	7.15	8.10	8.15	8.15	8.15		2.05	
Cumulatief	Frederique		6.00	7.65	8.70	9.55	9.55	9.55		3.55	
Ontwikkelingsstadium	Don Juan		0.00	0.00	5.00	7.00	8.00	11.00			
	Frederique		0.00	0.00	3.00	6.00	8.00	10.00			
versgewicht (g)	Don Juan		327.75	*	1405.80	*	*	1923.25	blad	bloem	totaal
per 10 planten	Frederique		184.75	*	1311.00	*	*	1747.85		244.60	2292.55
groei per wk (g)	Don Juan				26.95			8.62		14.78	19.65
per plant	Frederique				28.16			7.28		11.36	18.08
drooggewicht (g)	Don Juan		15.45	*	55.55	*	*	75.85		27.60	103.45
per 10 planten	Frederique		9.25	*	43.45	*	*	68.65		18.25	86.90
groei per wk (g)	Don Juan				1.00			0.34		0.80	0.88
per plant	Frederique				0.86			0.42		0.72	0.78
drogestof%	Don Juan		4.75	*	3.96	*	*	3.95		7.48	
	Frederique		5.00	*	3.31	*	*	3.93		7.46	
Ronde 3											
dagnr		2-12-2006	5-12-2006	18-12-2006	10-1-2007	24-1-2007	8-2-2007	22-2-2007	lengtegroei	lengtegroei/wk	
		0	3	16	39	53	68	82			
Lengte meting (cm)	Don Juan	30-11-2006	14.37	17.33	21.55	24.40	26.87	27.96		13.59	1.20
	Frederique	6-12-2006	10.51	13.08	18.05	20.73	24.61	26.82		16.31	1.45
Bladafplitsing	Don Juan		6.45	8.30	9.90	9.90	9.90	9.90		3.45	
Cumulatief	Frederique		5.30	7.50	9.70	9.70	9.70	9.70		4.40	
Ontwikkelingsstadium	Don Juan		0.0	0.0	5.0	7.0	8.0	11.0			
	Frederique		0.0	0.0	4.0	6.0	7.0	11.0			
versgewicht (g)	Don Juan		489.85	*	1696.50	*	*	2131.50	blad	bloem	totaal
per 10 planten	Frederique		178.20	*	985.75	*	*	1415.50		232.95	2423.75
groei per wk (g)	Don Juan				23.46			7.08		11.84	17.14
per plant	Frederique				15.70			7.00		10.79	13.03
drooggewicht (g)	Don Juan		20.55	*	74.20	*	*	75.12		22.41	97.53
per 10 planten	Frederique		7.45	*	50.47	*	*	36.60		16.53	53.13
groei per wk (g)	Don Juan				1.04			0.01		0.38	0.68
per plant	Frederique				0.84			-0.23		0.04	0.40
drogestof%	Don Juan		4.21	*	4.37	*	*	3.53		7.67	
	Frederique		4.19	*	5.16	*	*	2.59		7.10	
Ronde 4											
dagnr		22-2-2007	22-2-2007	15-3-2007	29-3-2007	12-4-2007	26-4-2007		lengtegroei	lengtegroei/wk	
		0	0	21	35	49	63				
Lengte meting (cm)	Don Juan	22-2-2007	10.35	14.83	17.90	21.50	26.01		15.66		1.74
	Frederique	22-2-2007	9.55	16.12	19.78	23.84	27.94		18.39		2.04
Bladafplitsing	Don Juan		4.10	6.80	8.35	8.35	8.35		4.25		
Cumulatief	Frederique		5.50	7.95	9.60	9.60	9.60		4.10		
Ontwikkelingsstadium	Don Juan		0.0	0.0	4.0	7.0	8.0				
	Frederique		0.0	0.0	4.0	7.5	9.0				
versgewicht (g)	Don Juan		121.85	973.80	*	*	2115.75	blad	bloem	totaal	groei/wk
per 10 planten	Frederique		170.85	1053.10	*	*	2147.55		297.65	2413.40	
groei per wk (g)	Don Juan			28.40			19.03		23.99	2366.05	25.46
per plant	Frederique			29.41			18.24		21.88	2188.00	24.39
drooggewicht (g)	Don Juan		5.61	39.30	*	*	86.22		24.99	111.21	
per 10 planten	Frederique		6.09	44.35	*	*	88.70		16.97	105.67	
groei per wk (g)	Don Juan			1.12			0.78			1.20	1.17
per plant	Frederique			1.28			0.74			1.02	1.11
drogestof%	Don Juan		4.60	4.03	*	*	4.07		8.39		
	Frederique		3.56	4.21	*	*	4.13		7.76		
Ronde 5											
dagnr		27-4-2007	1-5-2007	24-5-2007	7-6-2007	19-6-2007		lengtegroei	lengtegroei/wk		
		0	4	27	41	53					
Lengte meting (cm)	Don Juan	27-4-2007	12.73	17.10	20.63	23.95	11.22		1.60		
	Frederique	27-4-2007	11.11	15.27	20.09	23.23	12.12		1.73		
Bladafplitsing	Don Juan		5.80	8.15	8.95	8.95	3.15				
Cumulatief	Frederique		5.95	9.00	10.00	10.00	4.05				
Ontwikkelingsstadium	Don Juan		0.0	4.0	7.0	8.0					
	Frederique		0.0	3.0	6.5	8.0					
versgewicht (g)	Don Juan		397.55	1535.20	*	2078.29	blad	bloem	totaal	groei/wk	
per 10 planten	Frederique		208.50	1055.30	*	1711.85		219.38	2297.66	1908.55	
groei per wk (g)	Don Juan			34.62		14.62		196.70	20.53	27.14	
per plant	Frederique			25.77		17.68			22.97	24.29	
drooggewicht (g)	Don Juan		17.23	59.10	*	76.20		16.51	92.71		
per 10 planten	Frederique		9.74	43.95	*	63.75		13.05	76.80		
groei per wk (g)	Don Juan			1.27		0.46			0.90	1.08	
per plant	Frederique			1.04		0.53			0.88	0.96	
drogestof%	Don Juan		4.34	3.85	*	3.66		7.53			
	Frederique		4.67	4.16	*	3.72		6.63			



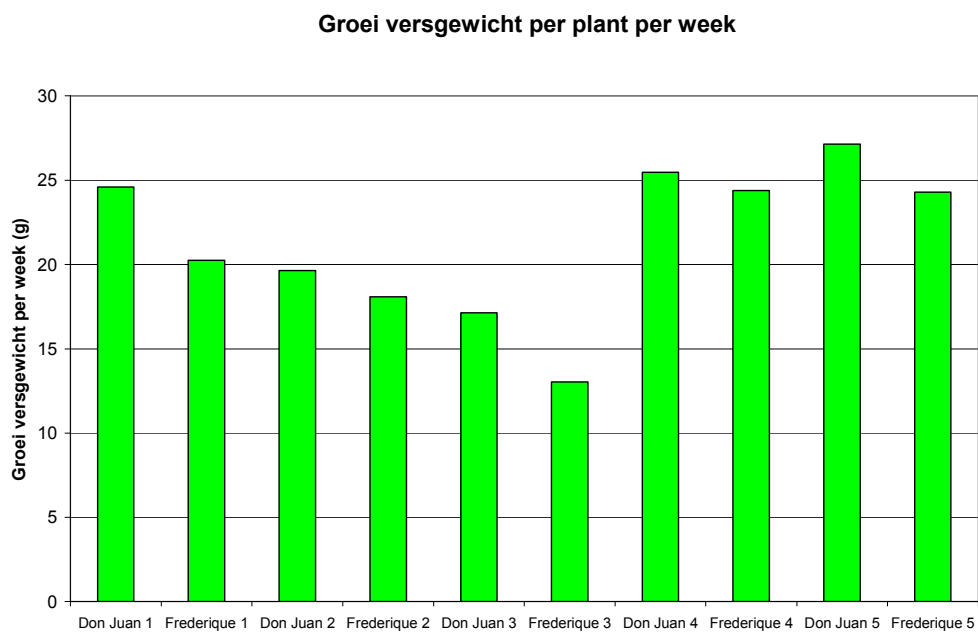
Figuur 76 Lengte teeltrondes bedrijf 1



Figuur 77 Gemiddelde lengtegroei per week teeltrondes bedrijf 1

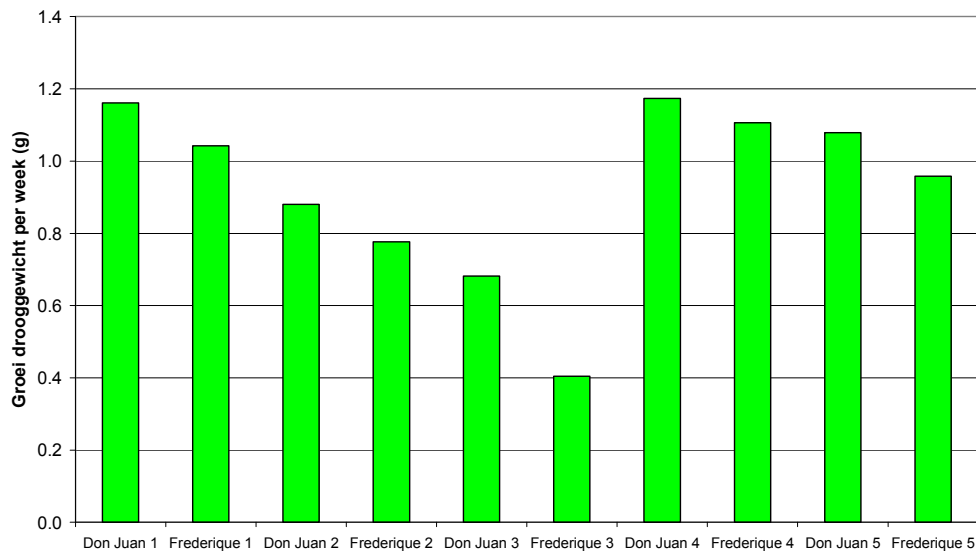


Figuur 78 Versgewicht per 10 planten aan het einde van de teeltrondes bedrijf 1



Figuur 79 Toename versgewicht per plant, per week, per teeltronde bedrijf 1

Groei drooggewicht per plant per week

**Figuur 80 Toename drooggewicht per plant, per week, per teeltronde bedrijf 1**

In figuur 78 zijn de versgewichten per 10 planten, per ras, per teeltronde aan het einde van de teelt weergegeven. 'Frederique' heeft duidelijk een lager versgewicht dan 'Don Juan'. Omdat de teeltduur van de diverse teeltrondes sterk uiteen loopt is de gemiddelde groei per week berekend. In figuur 79 en figuur 80 zijn de wekelijkse toename per plant weergegeven van het versgewicht en het drooggewicht. In tabel 9 zijn de gegevens cijfermatig weergegeven.

Hieruit blijkt duidelijk de groeiverschillen per teeltronde. De toename neemt duidelijk af van teeltronde 1 (start juli) naar teeltronde 3 (start december). Dit hangt sterk samen met het lichtniveau. In teeltronde 4 (start februari) en teeltronde 5 (start mei) neemt zowel het vers- als het drooggewicht gemiddeld per week sterk toe. Uit de tussenwaarneming (zie tabel 9) tijdens de KD periode blijkt duidelijk dat de toename gemiddeld in de eerste 4 weken van de KD sterker toeneemt per week dan in de laatste teeltfase. Mogelijk is meer energie (assimilaten) noodzakelijk voor de bloemontwikkeling in de laatste teeltfase.

Tabel 9 Gemiddelde groei (g) per week per fase in de KD

versgewicht (g)	1e 4 wk	laatste teeltfase	totaal
Don Juan	28.91	17.66	22.80
Frederique	25.01	16.12	20.00
drooggewicht (g)			
Don Juan	1.15	0.85	1.00
Frederique	0.97	0.79	0.86

9.3 Gewaswaarnemingen bedrijf 2

Op bedrijf 2 zijn 4 teeltrondes gevolgd waarbij ook deels de lange dag fase (LD) is gevolgd tot aan afleveren. Er is geteeld in een 10.5 cm pot. De plantafstand bedroeg gedurende de LD periode 90 planten per m² en gedurende de KD periode 45 planten per m². In tabel 10 zijn de teeltschema's weergegeven met een groot deel van de gewaswaarnemingen.



Figuur 81 Bromo



Juventa

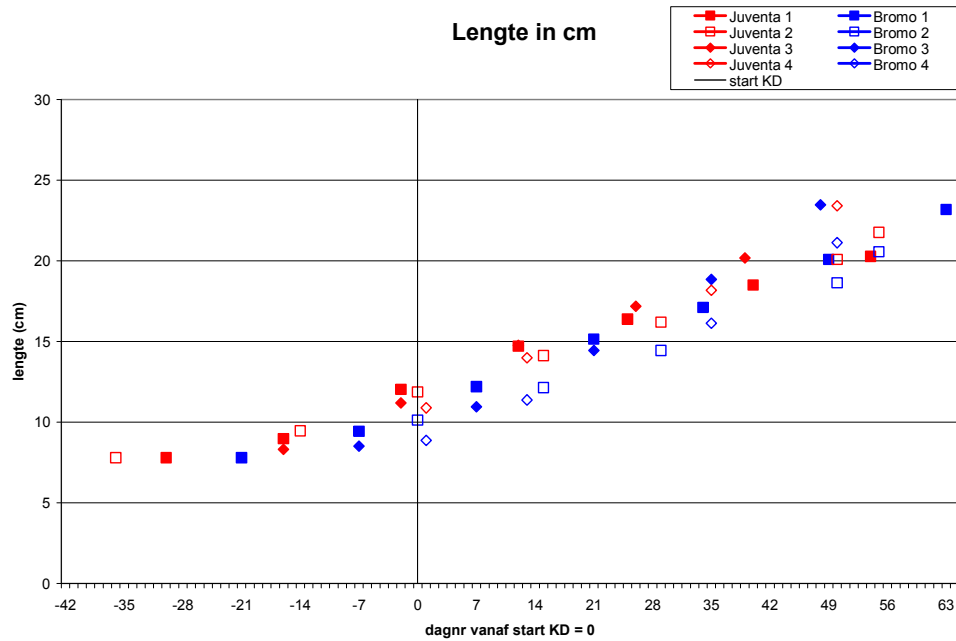
In figuur 82 is de plantlengte (incl. pot) van de diverse teeltrondes per ras weergegeven. Op de x-as is de tijd in dagen weergegeven waarbij dag 0 start KD is. De eindlengtes varieerden tussen 20,2 en 23,5 cm. De gemiddelde lengtegroei per week varieert tussen de 1,0 en 2,0 cm per week. Er zijn duidelijke verschillen tussen de rassen en tussen de teeltperiodes. De gemiddelde lengtegroei per week is weergegeven in figuur 83.

- Gemiddelde lengtegroei per week bij veel licht:
 - Juventa: 1,66 cm
 - Bromo: 1,88 cm
- Gemiddelde lengtegroei per week bij weinig licht:
 - Juventa: 1,14 cm
 - Bromo: 1,35 cm

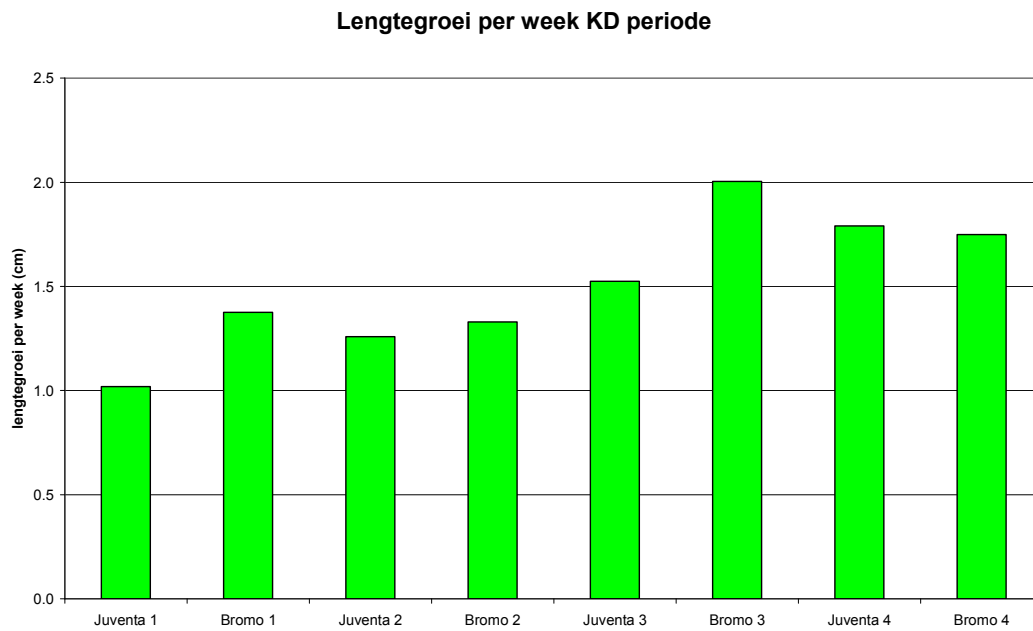
De gemiddelde bladafsplitsing in de KD fase is bij beide rassen gemiddeld 4,2 bladparen.

Tabel 10 Gegevens teeltrondes Kalanchoe bedrijf 2

Ronde 1			12-9-2006	26-9-2006	10-10-2006	24-10-2006	6-11-2006	21-11-2006	5-12-2006	lengtegroei KD periode	lengtegroei/wk KD periode		
dagnr		start KD	0	14	28	42	55	70	84				
Lengte meting	Juventa	12-10-2006	7.80	8.98	12.04	14.71	16.39	18.50	20.28	7.86	1.02		
	Bromo	3-10-2006	7.80	9.43	12.20	15.14	17.11	20.09	23.19	12.37	1.37		
Bladafsplitsing	Juventa		3.05	4.95	6.35	8.60	10.00	11.55	11.55				
Cumulatief	Bromo		3.35	5.30	6.80	8.35	10.00	10.00	10.00				
Ontwikkelingsstadium	Juventa		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	8.0				
	Bromo		0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	7.0	9.0				
versgewicht	Juventa		50.55	104.60	358.30	*	996.65	*	1727.85	88.15	1816.00		
per 10 planten	Bromo		35.90	83.70	281.15	*	1188.25	*	1581.75	118.90	1700.65		
groei per wk (g)	Juventa			2.70	12.69		16.55		17.65		19.78	18.22	
per plant	Bromo			2.39	9.87		23.52		9.50		12.37	17.74	
drooggewicht	Juventa		2.85	5.55	15.05	*	54.50	*	63.50	5.20	68.70		
per 10 planten	Bromo		2.22	4.20	11.20	*	62.55	*	62.45	9.35	71.80		
groei per wk (g)	Juventa			0.14	0.48		1.02		0.22		0.34	0.67	
per plant	Bromo			0.10	0.35		1.33		0.00		0.22	0.76	
drogestof%	Juventa		5.63	5.31	4.20	*	5.47	*	3.67	6.17			
	Bromo		6.16	5.01	3.98	*	5.26	*	3.95	7.88			
Ronde 2			19-12-2006	29-12-2006	10-1-2007	24-1-2007	8-2-2007	22-2-2007	15-3-2007	20-3-2007	lengtegroei KD periode	lengtegroei/wk KD periode	
dagnr		start KD	0	10	22	36	51	65	86	91			
Lengte meting	Juventa	24-1-2007	7.80	*	9.46	11.88	14.12	16.20	20.10	21.77	9.89	1.26	
	Bromo	24-1-2007	*	*	*	10.13	12.14	14.44	18.64	20.57	10.44	1.33	
Bladafsplitsing	Juventa		2.25	*	4.50	6.50	8.40	9.70	9.70	9.70			
Cumulatief	Bromo		*	*	*	5.30	7.40	8.95	8.95	8.95			
Ontwikkelingsstadium	Juventa		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	8.0	8+			
	Bromo		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	7.0	8.0			
versgewicht	Juventa		43.65	43.05	*	293.30	*	1009.60	*	1496.40	bloem	totaal	groei/wk
per 10 planten	Bromo		*	*	*	113.95	*	688.95	*	1311.35	169.65	1666.05	KD periode
groei per wk (g)	Juventa			-0.04		6.74		17.29		13.11	115.40	1426.75	
per plant	Bromo							13.88		16.76	17.67	17.47	16.71
drooggewicht	Juventa		2.32	2.01	*	17.97	*	35.02	*	60.99	14.32	75.31	
per 10 planten	Bromo		*	*	*	6.65	*	23.17	*	52.52	8.94	61.46	
groei per wk (g)	Juventa			-0.02		0.43		0.41		0.70		1.08	0.73
per plant	Bromo							0.40		0.79		1.03	0.70
drogestof%	Juventa		5.32	4.64	*	6.13	*	3.47	*	4.08	8.45		
	Bromo		*	*	*	5.85	*	3.36	*	4.00	7.77		
Ronde 3			29-3-2007	12-4-2007	26-4-2007	10-5-2007	23-5-2007	lengtegroei KD periode	lengtegroei/wk KD periode				
dagnr		start KD	0	14	28	42	55						
Lengte meting	Juventa	14-4-2007	8.33	11.20	14.77	17.19	20.20	8.49	1.52				
	Bromo	5-4-2007	8.52	10.98	14.45	18.86	23.48	13.75	2.00				
Bladafsplitsing	Juventa		2.90	5.90	7.95	9.90	9.90						
Cumulatief	Bromo		3.15	6.75	8.40	11.10	11.10						
Ontwikkelingsstadium	Juventa		0.00	0.00	0.00	5.00	7.00						
	Bromo		0.00	0.00	0.00	6.00	8.00						
versgewicht	Juventa		43.50	225.95	*	1373.50	1890.50	bloem	totaal	groei/wk			
per 10 planten	Bromo		54.60	267.35	*	1466.10	1805.50	68.25	1958.75	KD periode			
groei per wk (g)	Juventa			9.12		28.69	27.84	163.45	1968.95		29.58		
per plant	Bromo			10.64		29.97	18.28		31.51		29.05		
drooggewicht	Juventa		2.90	19.25	*	53.85	81.40	5.60	87.00				
per 10 planten	Bromo		2.95	19.65	*	56.95	80.00	12.15	92.15				
groei per wk (g)	Juventa			0.82		0.87	1.48		1.79	1.16			
per plant	Bromo			0.84		0.93	1.24		1.90	1.24			
drogestof%	Juventa		6.66	8.52	*	3.92	4.31	8.20					
	Bromo		5.39	7.36	*	3.89	4.43	7.47					
Ronde 4			7-6-2007	19-6-2007	11-7-2007	26-7-2007	lengtegroei KD periode	lengtegroei/wk KD periode					
dagnr		start KD	0	12	34	49							
Lengte meting	Juventa	6-6-2007	10.89	13.99	18.18	23.43	12.54	1.79					
	Bromo	6-6-2007	8.88	11.39	16.14	21.13	12.25	1.75					
Bladafsplitsing	Juventa		5.45	7.8	9.90	9.90							
Cumulatief	Bromo		4.95	7.65	9.15	9.15							
Ontwikkelingsstadium	Juventa		0.0	0.0	6.0	9.0							
	Bromo		0.0	0.0	5.0	8.0							
versgewicht	Juventa		313.55	685.43	1565.35	1870.85	165.35	2036.20		bloem	totaal	groei/wk	
per 10 planten	Bromo		147.50	398.20	1233.75	1369.75	102.33	1472.08		1472.08		KD periode	
groei per wk (g)	Juventa			21.69	28.00	14.26		21.97		24.61			
per plant	Bromo			14.62	26.59	6.35		11.12		18.92			
drooggewicht	Juventa		14.15	26.93	65.6	77.99	14.84	92.83					
per 10 planten	Bromo		7.70	8.20	55.65	56.68	8.05	64.73					
groei per wk (g)	Juventa			0.75	1.23	0.58		1.27	1.12				
per plant	Bromo			0.03	1.51	0.05		0.42	0.81				
drogestof%	Juventa		4.54	3.93	4.18	4.17	8.98						
	Bromo		5.22	5.56	4.51	4.12	7.90						



Figuur 82 Lengte teeltrondes bedrijf 2

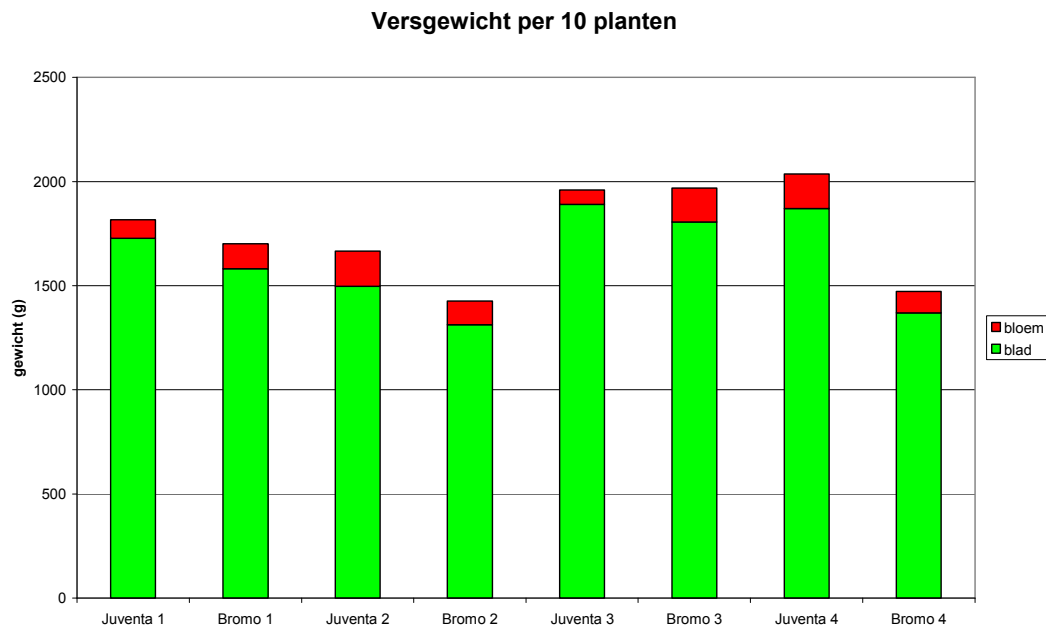


Figuur 83 Gemiddelde lengtegroei per week teeltrondes bedrijf 2

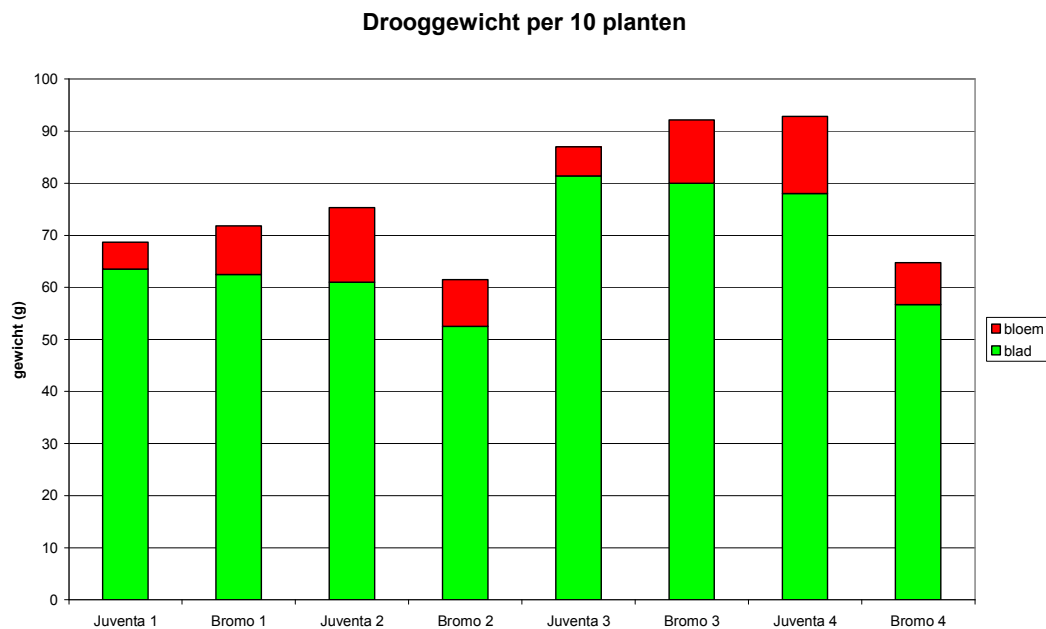
In figuur 84 zijn de versgewichten per 10 planten, per ras, per teeltronde aan het einde van de teelt weergegeven. 'Bromo' heeft in het algemeen een lager versgewicht dan 'Juventa'. De gemiddelde drooggewichten aan het einde van de teelt zijn weergegeven in figuur 85.

Omdat de teeltduur van de diverse teeltrondes uiteen loopt en de groei duidelijk verschillend is per teelfase (LD en KD), is de gemiddelde groei per week in de KD-periode berekend. Hierdoor zijn ze ook beter vergelijkbaar met de gegevens van bedrijf 1. In figuur 86 en figuur 87 zijn de wekelijkse toename per plant weergegeven van het versgewicht en het drooggewicht.

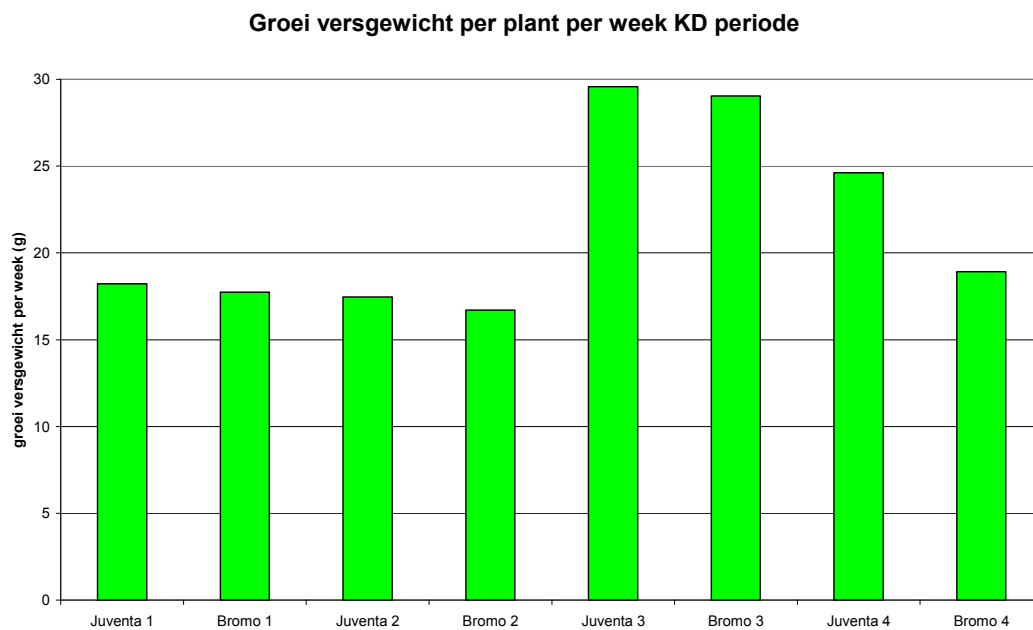
Hieruit blijkt duidelijk de groeiverschillen per teeltronde. De toename in teeltronde 1 (start KD in oktober) en teeltronde 2 (start KD in januari) is duidelijk veel lager dan in teeltronde 3 (start KD in april) en teeltronde 4 (start KD in juni). Dit hangt weer sterk samen met het lichtniveau.



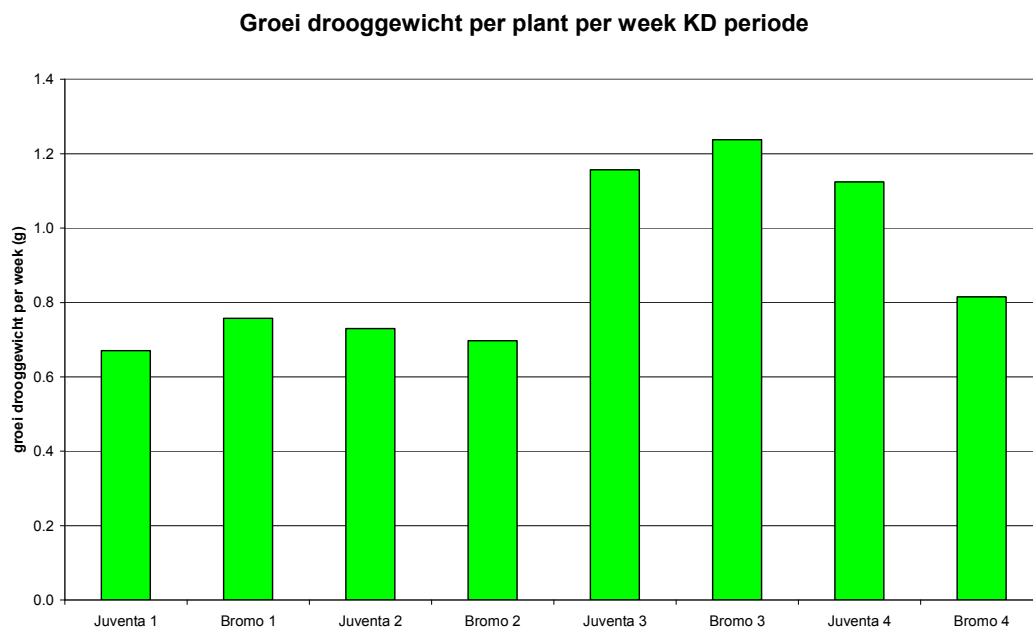
Figuur 84 Versgewicht per 10 planten aan het einde van de teeltrondes bedrijf 2



Figuur 85 Drooggewicht per 10 planten aan het einde van de teeltrondes bedrijf 2



Figuur 86 Toename versgewicht KD periode per plant, per week, per teeltronde bedrijf 2



Figuur 87 Toename drooggewicht KD periode per plant, per week, per teeltronde bedrijf 2

9.4 Klimaat- en growlab waarnemingen

Tijdens de monitoringsperiode zijn veel gegevens verzameld. De verzameling van de gegevens vond plaats met de growlab die in het gewas opgesteld stond (Figuur 88).



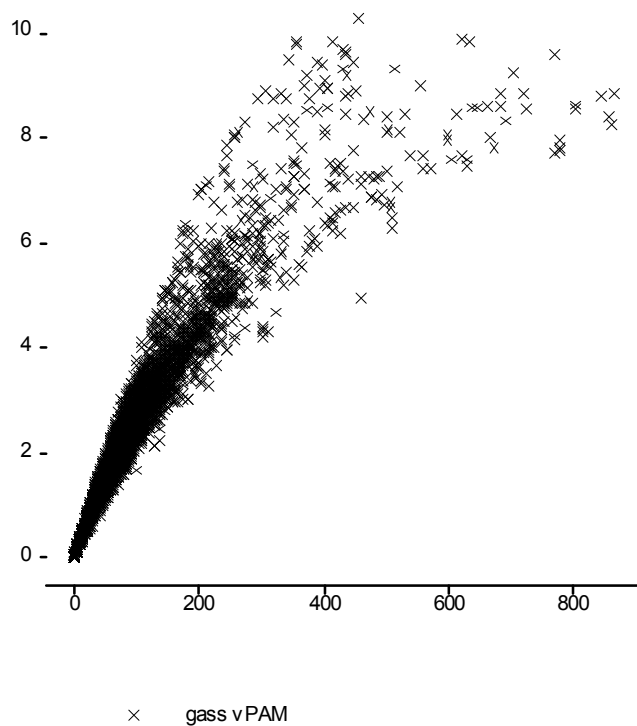
Figuur 88 Proefopstelling Growlab in Kalanchoe

Periodiek zijn de gegevens nader geanalyseerd met o.a. multiple regressie analyse. Hierbij een aantal resultaten van deze analyses. De assimilatie hangt in bepaalde periodes o.a. sterk samen met:

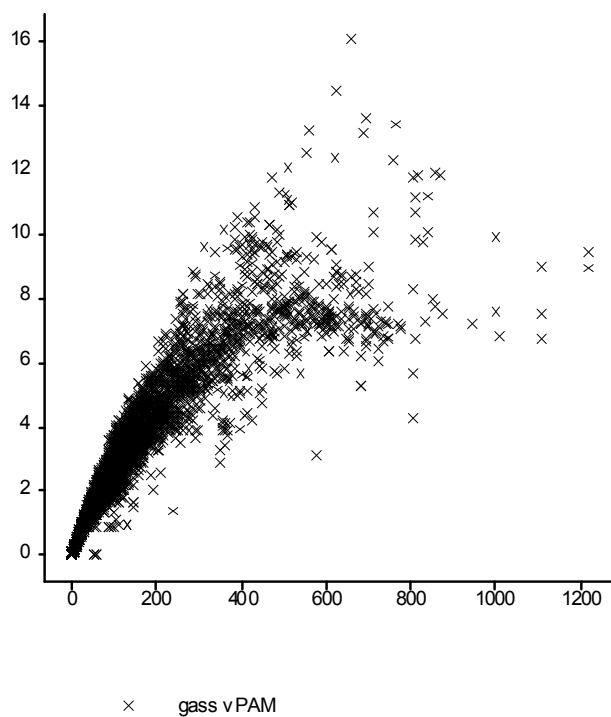
- PAR
- CO₂
- VPD
- RV
- Planttemperatuur
- Kastemperatuur

In de volgende figuur is weer duidelijk te zien dat de assimilatie sterk samenhangt met het PAR-licht (Figuur 89). Vooral bij hogere lichtniveaus wordt de samenhang met andere factoren meer bepalend voor de assimilatie. Hierbij moet gedacht worden aan CO₂ en VPD. Ook in de lichtere periodes is deze samenhang er duidelijk (Figuur 90). Hieruit blijkt duidelijk dat bij lichtniveaus boven 400 $\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$ PAR PAM-licht andere factoren sterker bepalend voor de assimilatie worden. Daarnaast neemt de lichtefficiëntie af.

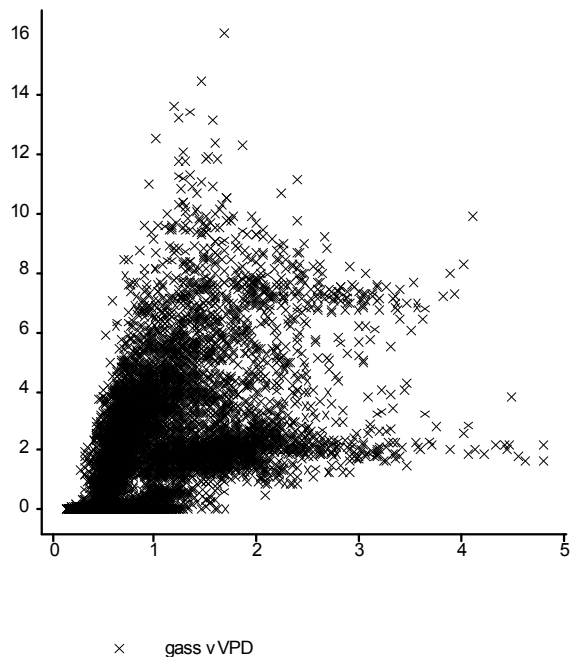
Vooral bij hogere VPD waarden worden weinig situaties gevonden met een hoge assimilatie (Figuur 91).



Figuur 89 Teelt 2 (sept-dec) Relatie Assimilatie PAR-PAM



Figuur 90 Teelt 5 (april-juni) Relatie Assimilatie PAR-PAM



Figuur 91 Teelt 5 (april-juni) Relatie Assimilatie VPD

De NPQ (Non Photochemical Quenching) ofwel licht belasting of plantenstress hangt o.a. samen met:

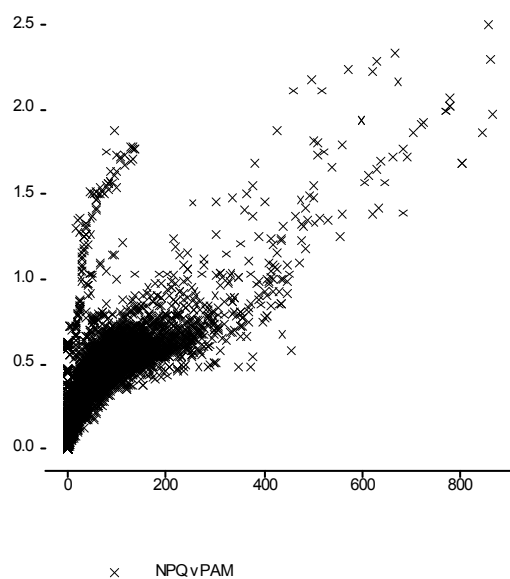
- PAR-PAM
- RV
- CO₂
- Planttemperatuur

De relatie tussen NPQ en PAR PAM licht is duidelijk te zien in Figuur 92. Vooral bij hoge instraling, boven de 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PAR-PAM ondervindt de plant duidelijk stress. De NPQ komt dan vrijwel altijd boven de 1 a 1,2 uit. Dit geeft aan dat plant bij hoge lichtintensiteiten een kleiner aandeel van het licht gebruikt voor de fotosynthese.

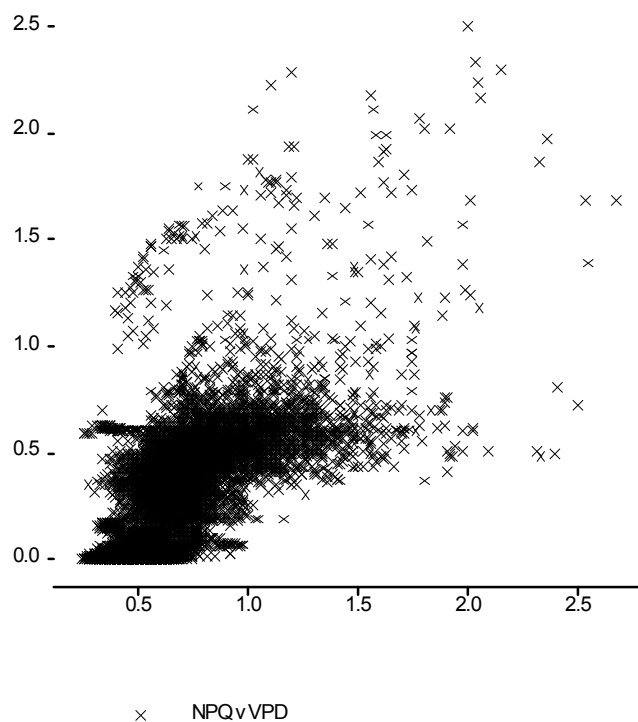
Bij een toename van de VPD neemt relatief het aantal stress momenten sterk toe (Figuur 93).

In de periode april - juni blijkt de relatie tussen NPQ en PAR PAM (Figuur 94) minder duidelijk. De gevoeligheid voor licht is duidelijk afgenomen. Pas vanaf de 700 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PAR-PAM komt de NPQ pas continu boven de 1. Dit doet vermoeden dat de periode waarin de plant zich heeft ontwikkeld mede bepalend is voor de gevoeligheid voor de heersende lichtcondities.

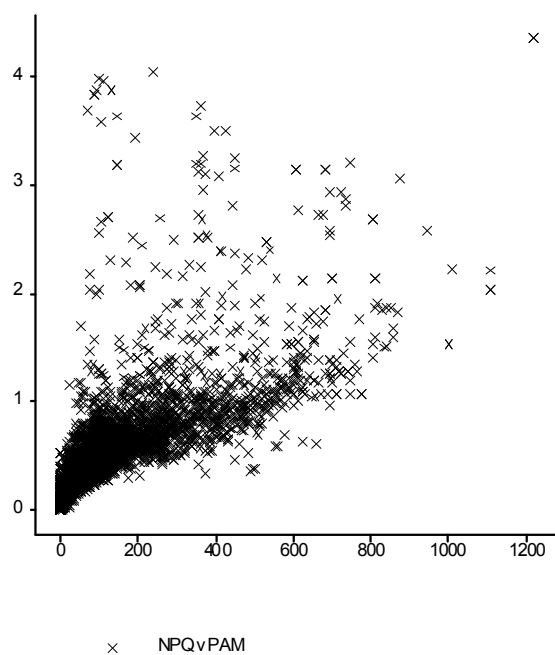
Duidelijk is dat ook een lage RV resulteert in een hoge NPQ (Figuur 95). Vanaf een RV van 70% en hoger blijft de NPQ binnen redelijke grenzen.



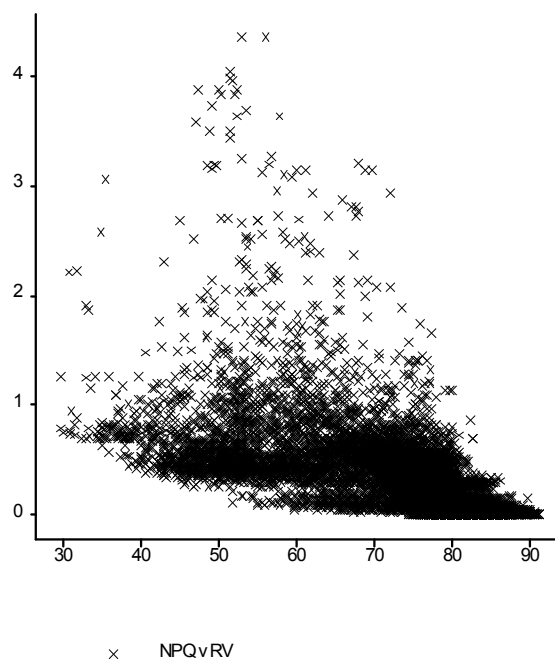
Figuur 92 Teelt 2 Sept-dec Relatie NPQ PAR-PAM



Figuur 93 Teelt 2 Sept-dec Relatie NPQ VPD



Figuur 94 Teelt 5 (april-juni) Relatie NPQ PAR-PAM



Figuur 95 Teelt 5 (april-juni) Relatie NPQ RV

10 Resultaten praktijkmonitoring Spathiphyllum

10.1 Opzet en meetprotocol Spathiphyllum

Bij Spathiphyllum zijn gedurende 1 jaar op 2 bedrijven 2 tot 3 teelten achter elkaar per bedrijf gemonitord bij 2 rassen. De teelten hebben plaats gevonden in de periode:

- Bedrijf 1 (10,5 cm en 9 cm pot): 'Chopin' en 'Tango'
 - Juli – november (1)
 - December – maart (2)
 - Maart – juli (3)
- Bedrijf 2 (17 cm pot): '1895'/'2941' en '2944'
 - Juli – januari (1)
 - Januari – Juli (2)

De volgende waarnemingen zijn, tijdens de teelt, verricht aan 2 x 10 planten per partij.

- Planthoogte. Hierbij is de hoogte aangehouden van onderkant pot tot het hoogste bladpuntje in gestrekte vorm (zie figuur 96). Pothoogte was 6,8 cm bij de 9 cm ø pot, 8 cm bij de 10,5 cm ø pot en 16 cm bij de 17 cm ø pot.
- Plantmateriaal is per ras beschreven, daarbij is o.a. het aantal planten per pot en mate van scheutvorming vastgelegd.
- Het aantal knoppen en bloemen.
- Bloemsteellengte.
- Vers- en drooggewicht. Hierbij zijn de vegetatieve en generatieve delen apart gewogen.
- Uitwendige kwaliteit en wortelvorming zijn beschreven. Eventuele afwijkende groeipatronen zijn daarnaast ook beschreven.
- Regelmatig zijn foto's gemaakt.



Figuur 96 Planthoogte in cm

Naast de gewaswaarnemingen is een logboek bijgehouden met daarin de belangrijkste teelthandelingen en –maatregelen, zoals plantafstand, moment GA-behandeling, wijderzetten etc.

10.2 Gewaswaarnemingen bedrijf 1

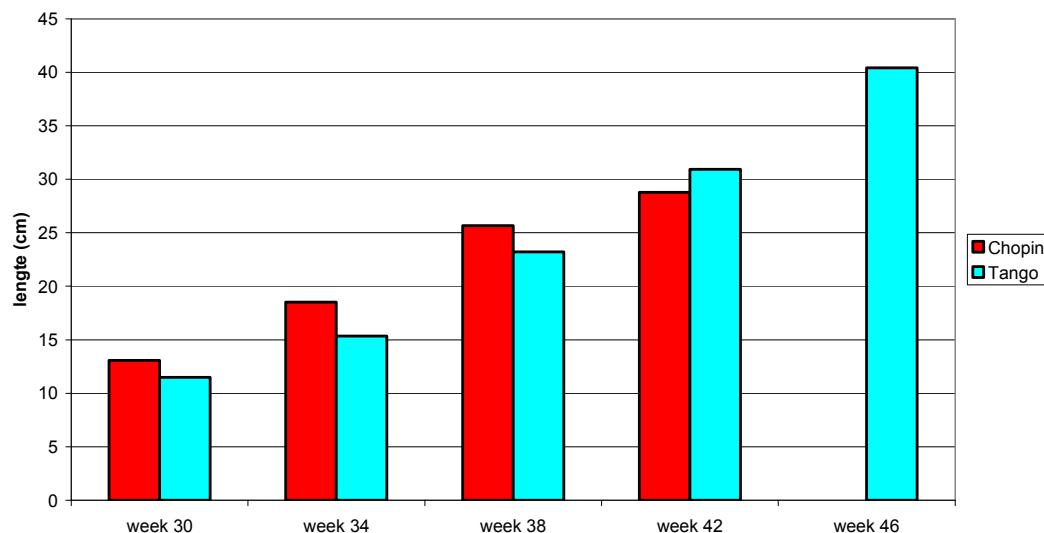
Op bedrijf 1 zijn 3 teeltrondes gevolgd vanaf oppotten tot aan afleveren. Er is geteeld in een 9 en 10,5 cm pot. De plantafstand bedroeg in de 9 cm pot gedurende in de eerste teeltfase 121 planten/m², na de eerste keer wijderzetten 87 planten/m² en na de tweede keer wijder zetten 58 planten/m². In de 10,5 cm pot was dit 97 planten/m² bij aanvang en 36 planten/m² na de eerste keer wijderzetten. In tabel 11 zijn de teeltschema's weergegeven.

Tabel 11 Overzicht teeltschema teeltronde's bedrijf 1

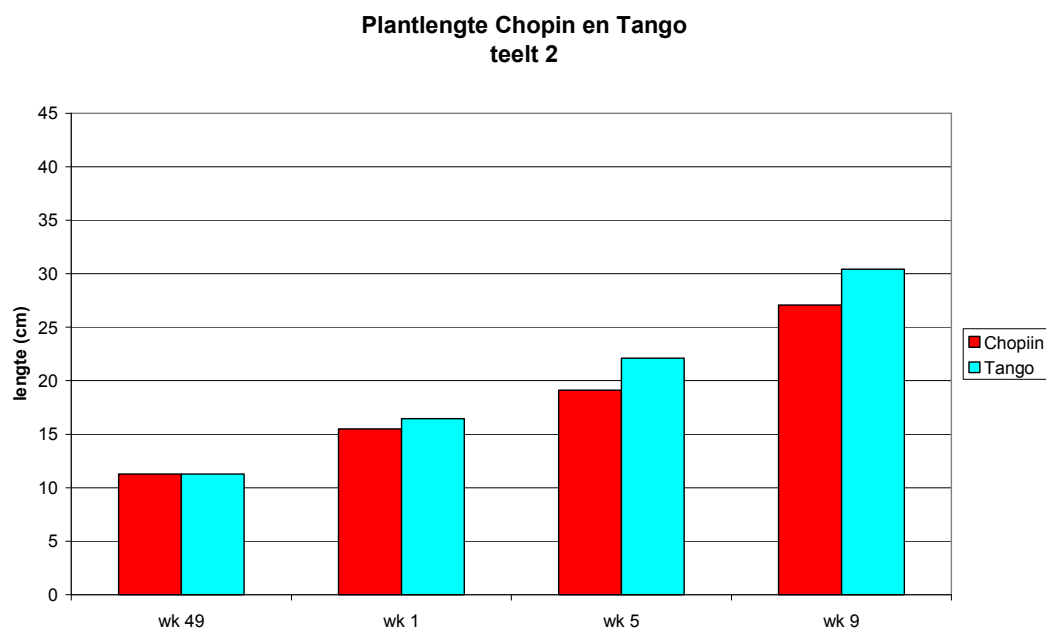
Bedrijf 1	ras	potmaat	pothoogte	oppotweek	wijderzet 1	GA behand	wijderzet 2	afzetweek	beschrijving
teelt 1	Tango	10.5	8	29	41	37		49	Gezond en goed van kleur met 3 planten per pot, ongeveer 3-4 scheuten per plantje.
	Chopin	10.5	8	29	34	33	40	46	Oogt gezond, heel enkel bruin bladpuntje, 4 planten per pot en ongeveer 4-6 scheuten per plantje.
teelt 2	Tango	9	6.8	49	2	1	8	12	Gezond en goed van kleur met 3 toef per pot, ongeveer 2-4 scheuten per toef.
	Chopin	10.5	8	49	5	3		12	Oogt gezond, 4 toef per pot en ongeveer 4-6 scheuten per toef.
teelt 3	Tango	9	6.8	14	19/20	19	26	30	Gezond en goed van kleur met 3 toef per pot, ongeveer 3-4 scheuten per toef.
	Chopin	10.5	8	14	20	19		27	Oogt gezond, 4 toef per pot en ongeveer 3-5 scheuten per toef.

In figuur 97 t/m figuur 99 is per ras de planthoogte per teeltronde weergegeven. In tabel 12 is de gemiddelde groei in cm per ras, per week weergegeven.

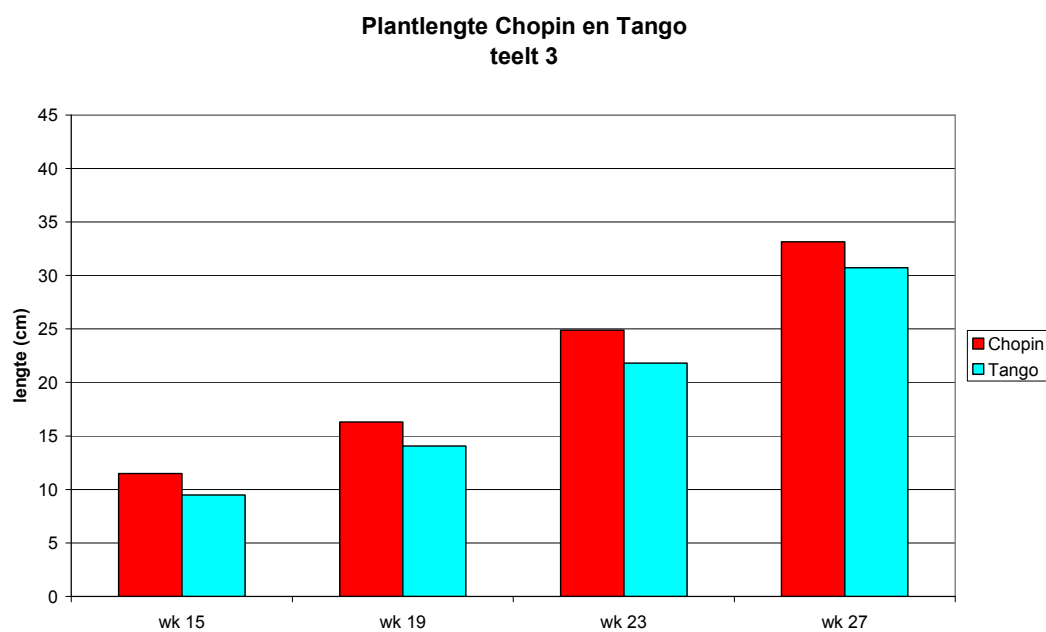
**Plantlengte Chopin en Tango
teelt 1**



Figuur 97 Lengte bedrijf 1 teeltronde 1



Figuur 98 Lengte bedrijf 1 teeltronde 2



Figuur 99 Lengte bedrijf 1 teeltronde 3

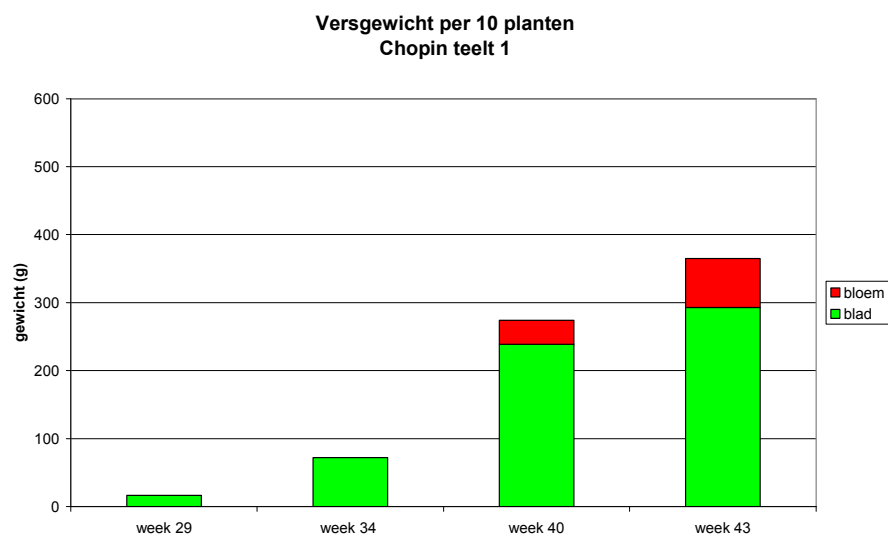
Tabel 12 Gemiddelde groeisnelheid in cm per week per teeltronde bedrijf 1

Teelt	ras	1 ^e 4 wk	2 ^e 4 wk	3 ^e 4 wk	4 ^e 4 wk	gem
1	Chopin	1.36	1.79	0.78		1.31
	Tango	0.96	1.96	1.93	2.37	1.81
2	Chopin	1.05	0.91	1.99		1.32
	Tango	1.29	1.41	2.08		1.60
3	Chopin	1.20	2.15	2.06		1.81
	Tango	1.14	1.94	2.22		1.77

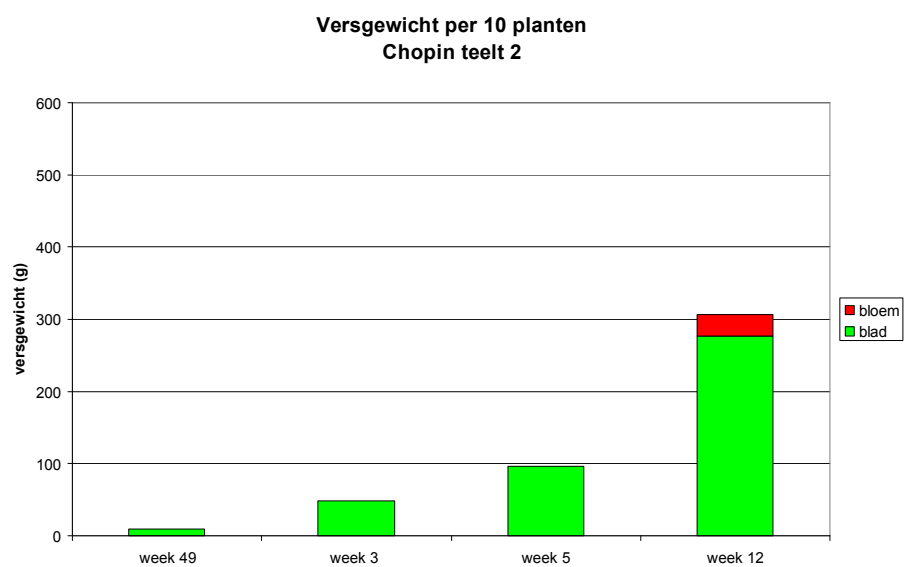
Gemiddeld groeien de *Spathiphyllum* 1,6 cm per week. 'Tango' groeit gemiddeld iets sneller (1,72 cm per week) dan 'Chopin' (1,48 cm per week), hoewel dit per teelt iets kan verschillen. De lengtegroei verloopt in het algemeen via een s-curve. Bij aanvang neemt de groei gestaag toe, waarna deze versnelt groeit en vervolgens weer afneemt aan het einde van de teelt.

In de figuur 100 tot en met 117 zijn de plantgewichten (vers- en drooggewicht) weergegeven van 'Chopin' en 'Tango'. Het droge stof percentage van de planten schommelt zowel bij 'Chopin' als bij 'Tango' tussen de 9 en 10%.

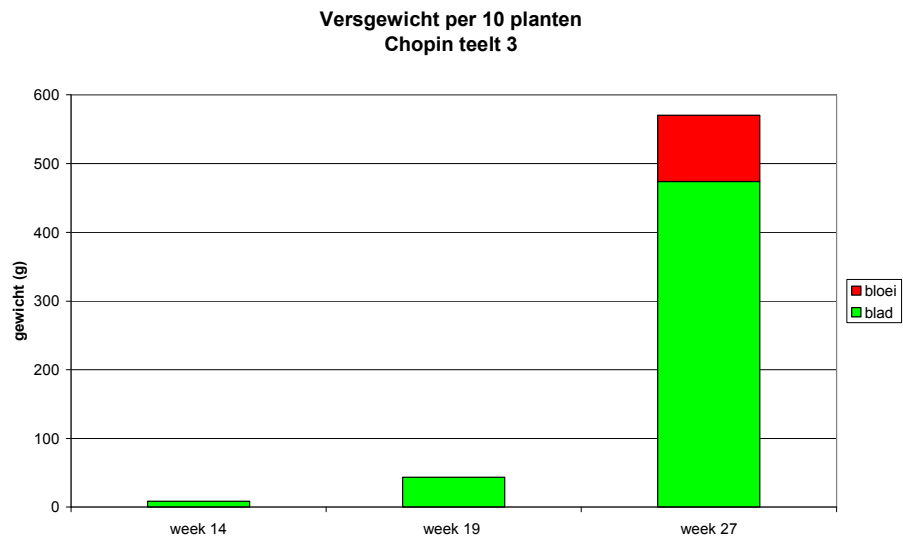
Het GrowSense model gaat uit van droge stof aanmaak. In de figuren is tevens de gemiddelde groei in drooggewicht per plant, per week weergegeven van de diverse teeltperiodes. De groeisnelheid bij 'Chopin' varieert van 0,06 tot 0,47 g droge stof per plant per week afhankelijk van het teeltstadium en van de teeltperiode. Bij 'Tango' ligt dit iets hoger namelijk van 0,06 tot 0,59 g droge stof per week per plant. De verschillen in groeisnelheid zijn echter ook hier groot tussen de verschillende teeltfases geweest. Hierbij is de bloemaanleg buiten beschouwing gelaten.



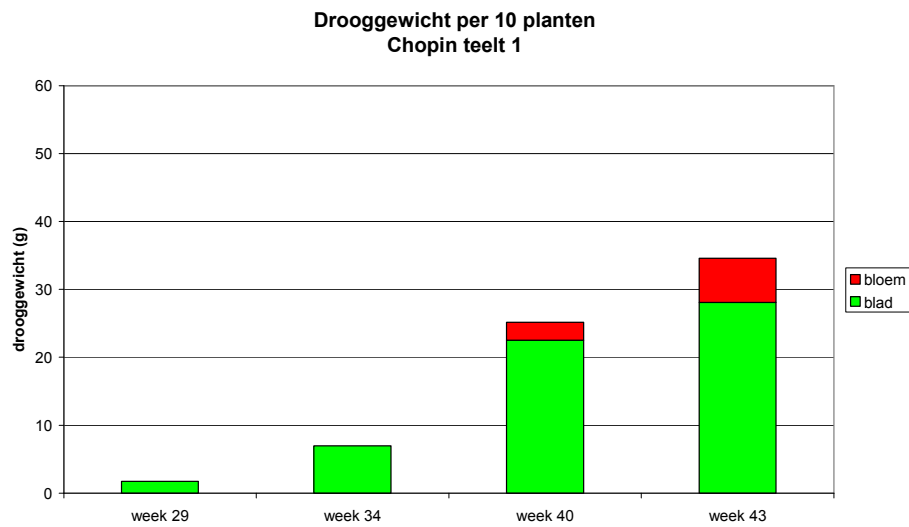
Figuur 100 Versgewicht per 10 planten Chopin teeltronde 1



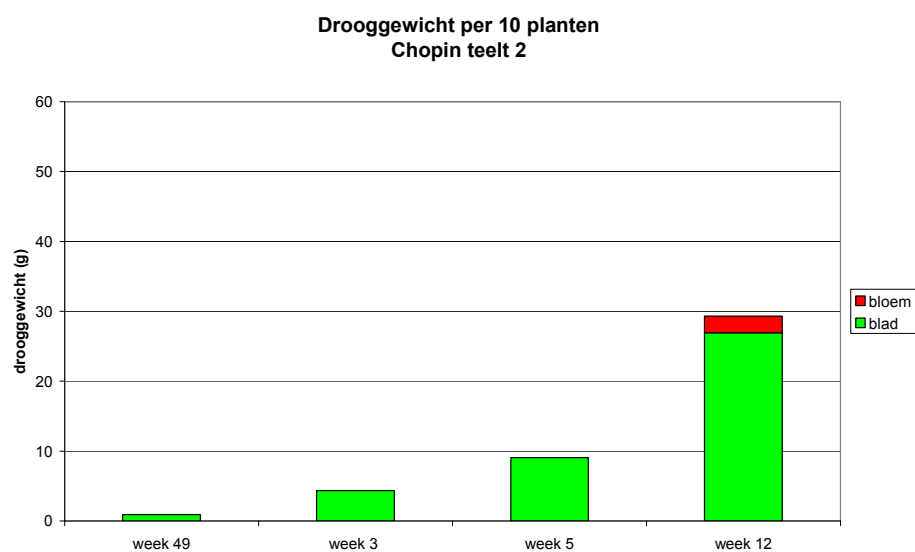
Figuur 101 Versgewicht per 10 planten Chopin teeltronde 2



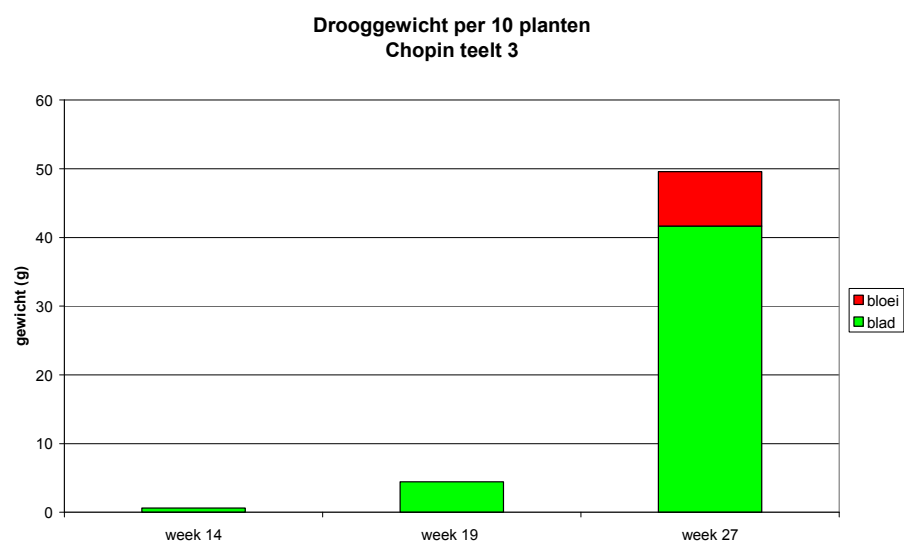
Figuur 102 Versgewicht per 10 planten Chopin teeltronde 3



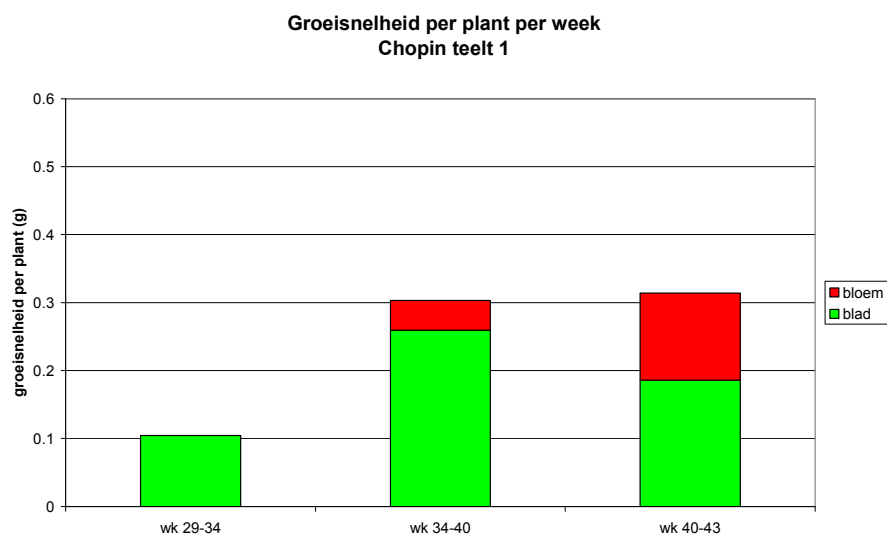
Figuur 103 Drooggewicht per 10 planten Chopin teeltronde 1



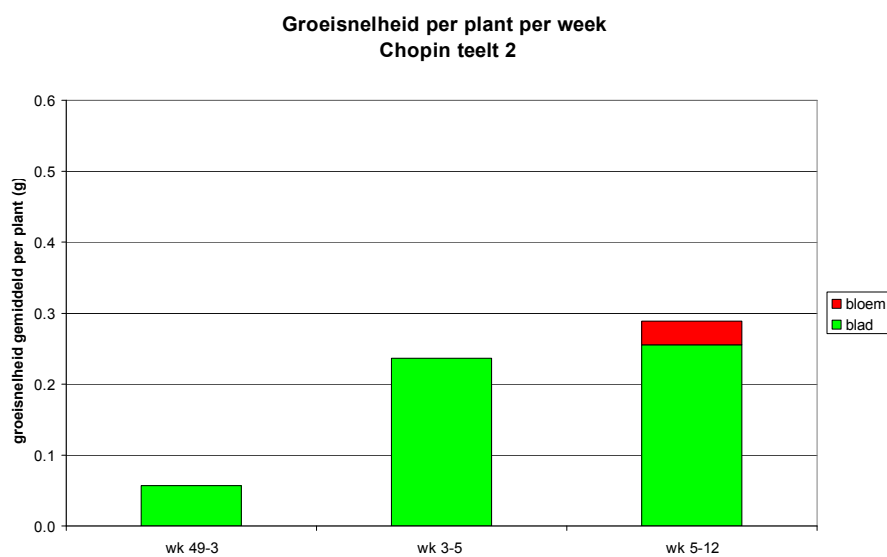
Figuur 104 Drooggewicht per 10 planten Chopin teeltronde 2



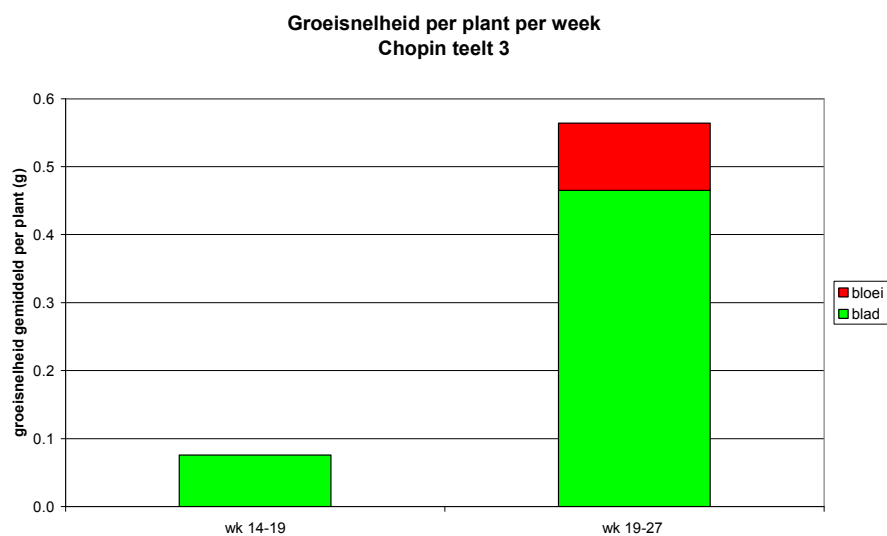
Figuur 105 Drooggewicht per 10 planten Chopin teeltronde 3



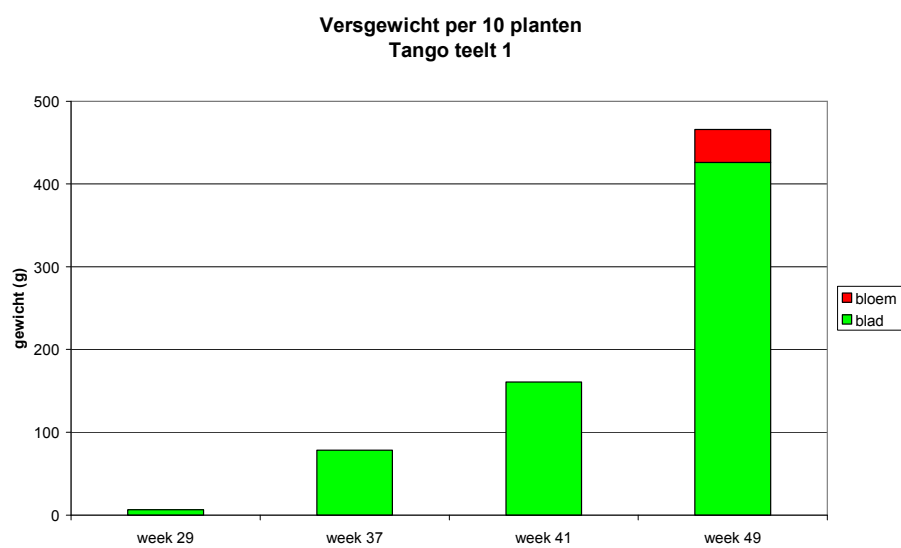
Figuur 106 Groeisnelheid per plant per week Chopin teelt 1



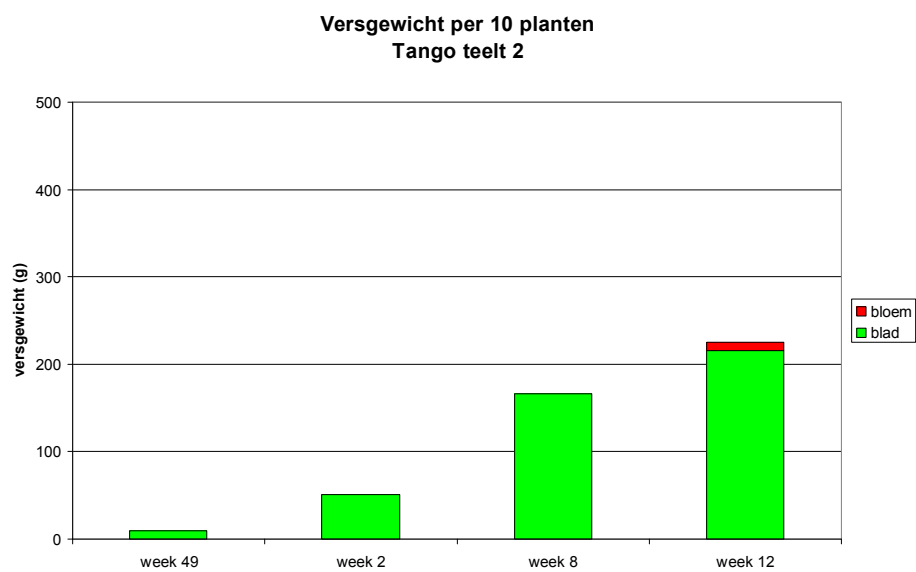
Figuur 107 Groeisnelheid per plant per week Chopin teelt 2



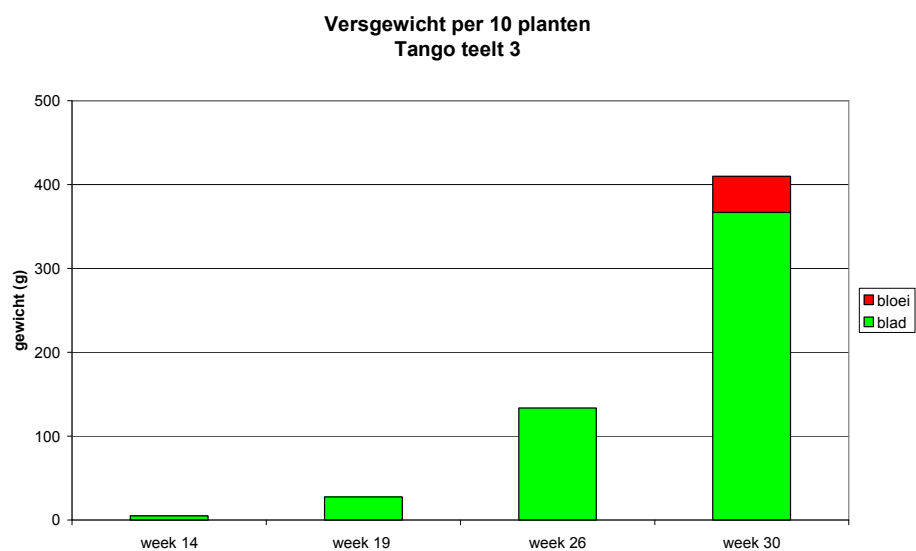
Figuur 108 Groeisnelheid per plant per week Chopin teelt 3



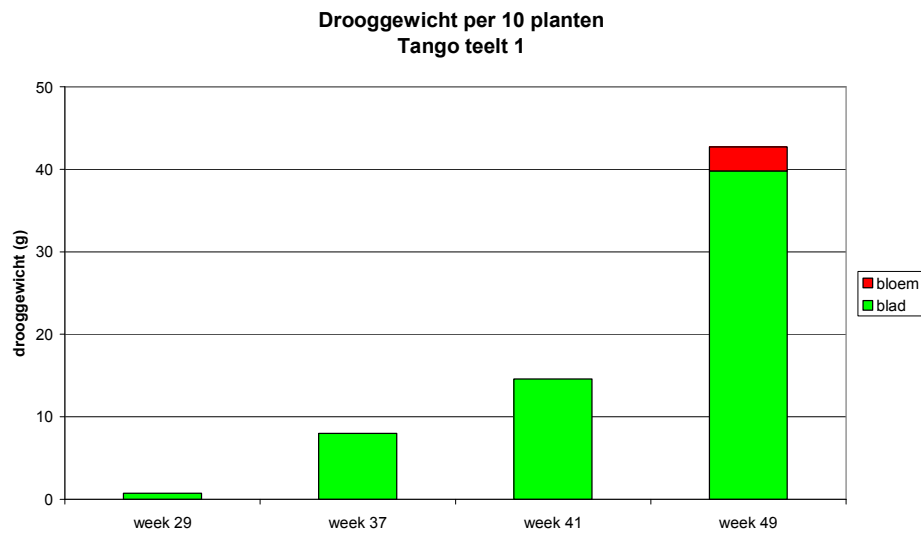
Figuur 109 Versgewicht per 10 planten Tango teeltronde 1



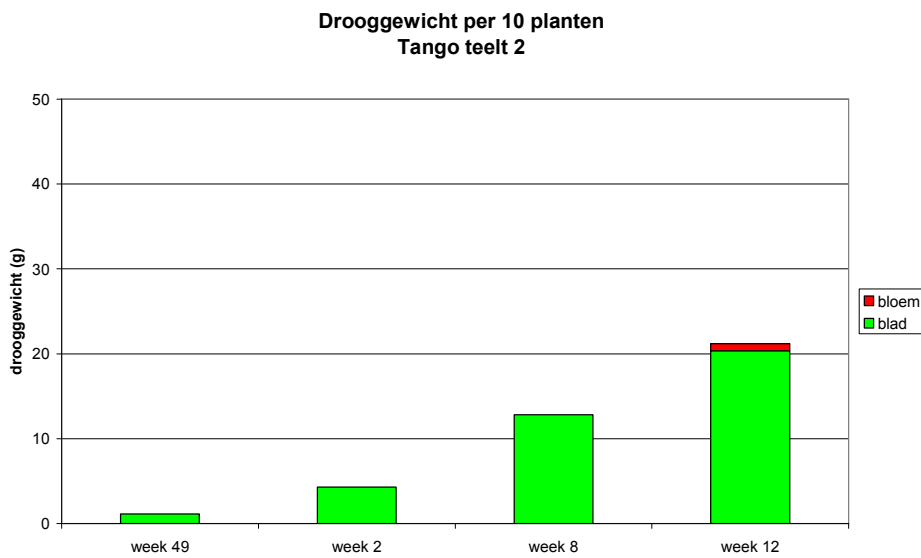
Figuur 110 Versgewicht per 10 planten Tango teeltronde 2



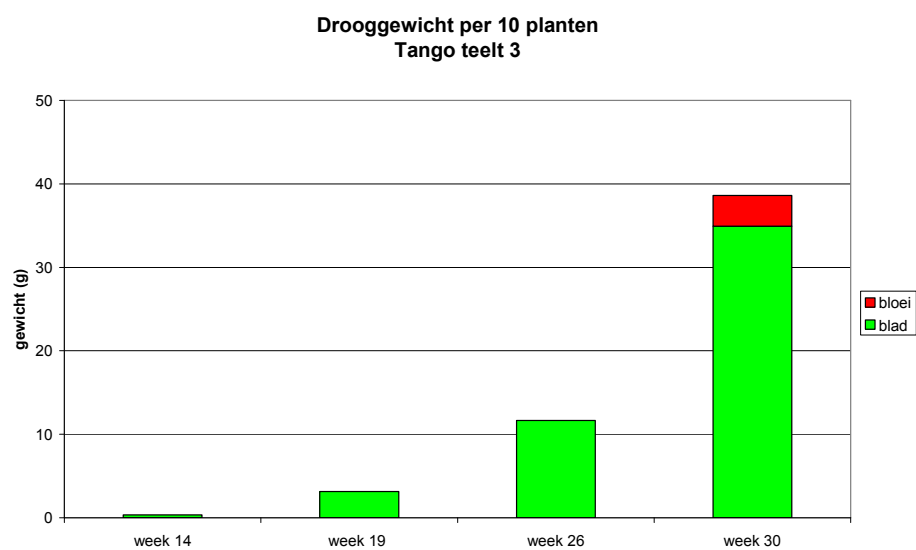
Figuur 111 Versgewicht per 10 planten Tango teeltronde 3



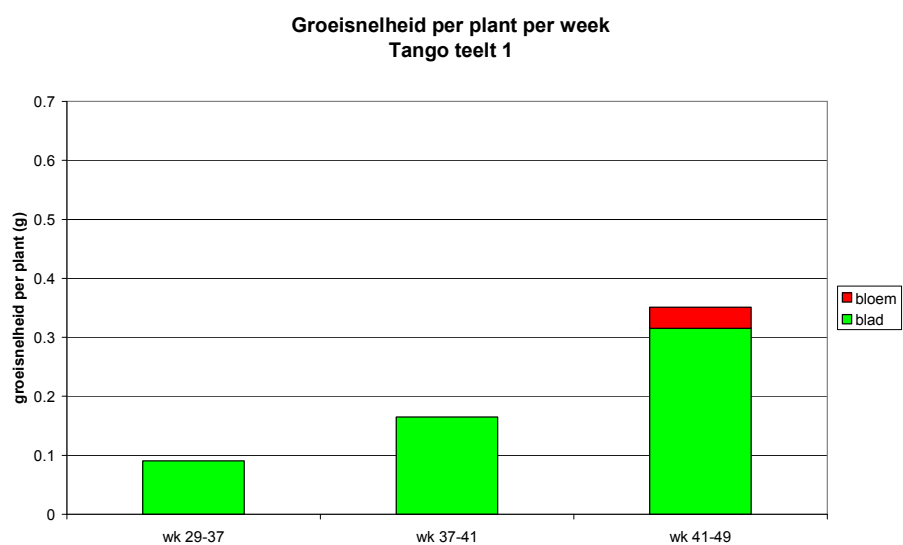
Figuur 112 Drooggewicht per 10 planten Tango teeltronde 1



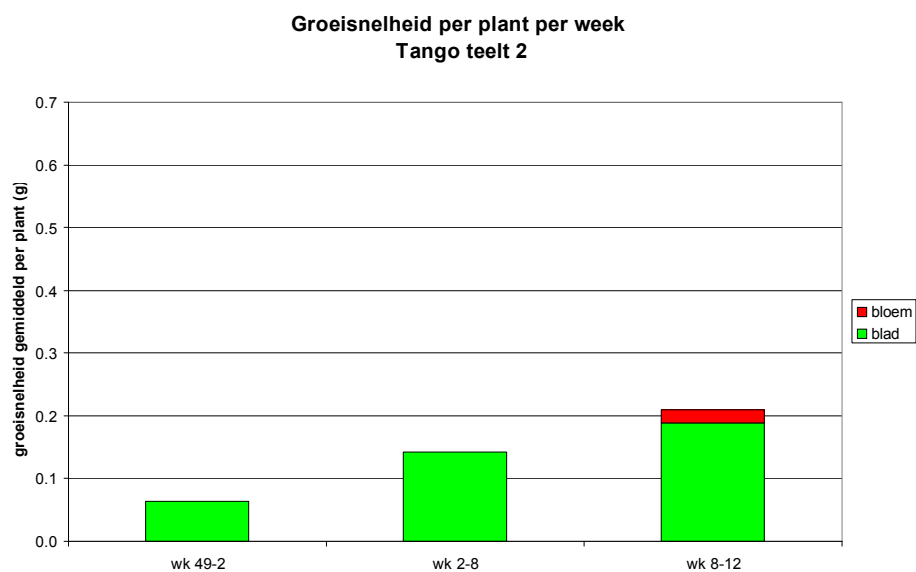
Figuur 113 Drooggewicht per 10 planten tango teeltronde 2



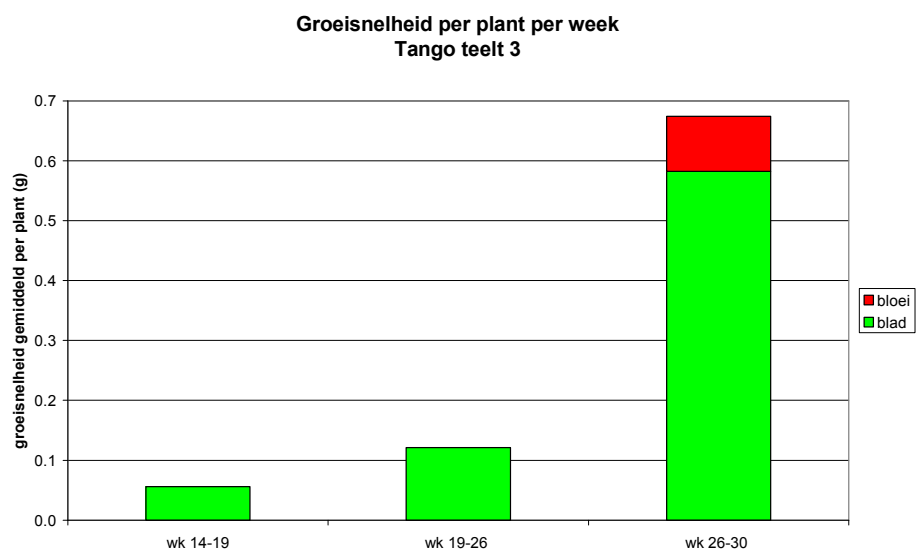
Figuur 114 Drooggewicht per 10 planten Tango teeltronde 3



Figuur 115 Groeisnelheid per plant per week Tango teelt 1



Figuur 116 Groeisnelheid per plant per week Tango teelt 2



Figuur 117 Groeisnelheid per plant per week Tango teelt 3

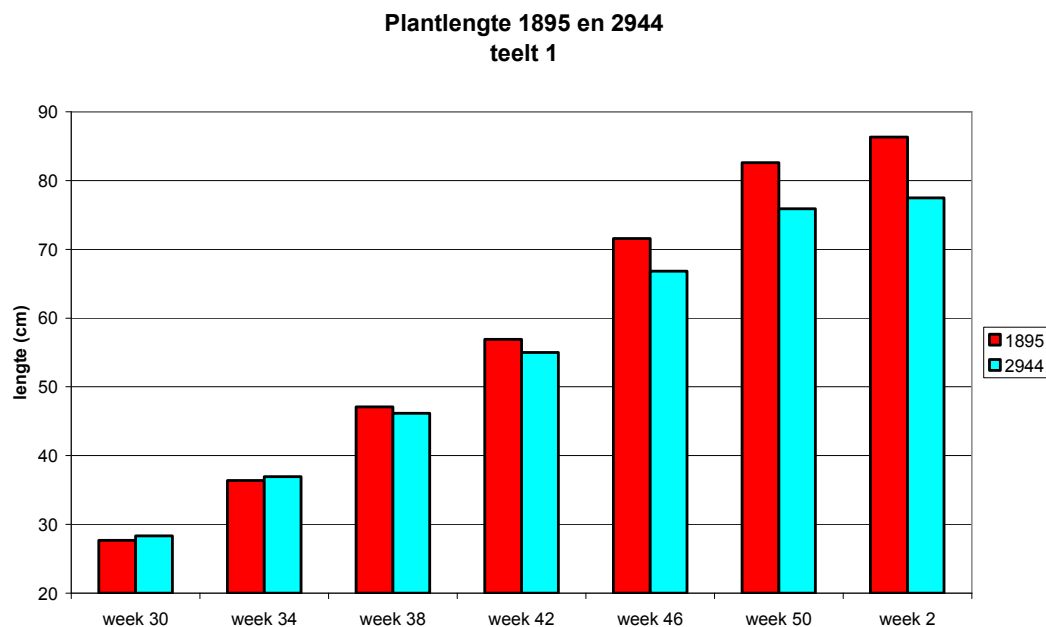
10.3 Gewaswaarnemingen bedrijf 2

Op bedrijf 2 zijn 2 teeltrondes gevolgd vanaf oppotten tot aan afleveren. Er is geteeld in een 17 cm pot. De plantafstand bedroeg in de eerste teeltfase 36 planten/m², na de eerste keer wijderzetten 18 planten/m² en na de tweede keer wijder zetten 10 planten/m². In tabel 13 zijn de teeltschema's weergegeven.

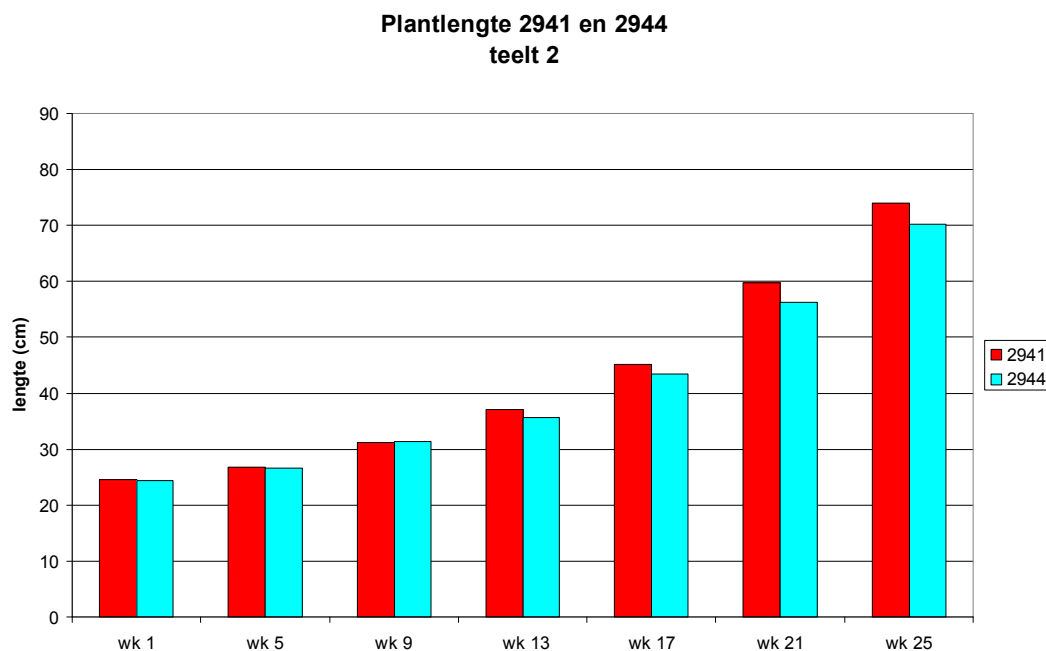
Tabel 13 Overzicht teeltschema teeltronde's bedrijf 2

Bedrijf 2	ras	potmaat	pothoogte	oppotweek	wijderzet 1	GA behand	wijderzet 2	afzetweek	beschrijving
teelt 1	2944	17	16	24	35	40	46	2	Gezond en goed van kleur, 4 planten per pot, 3-4 zij scheuten per plant.
	1895 ("Verdi")	17	16	24	35	40	46	2	Gezond en goed van kleur, blad iets kleiner als de 2944, 4 planten per pot en 3-4 scheuten per plant.
teelt 2	2944	17	16	1	13	17	18	28	Gezond en goed van kleur, 3 toef per pot, 3-5 zij scheuten per toef.
	2941 ("Verdi")	17	16	2	14	19	19	29	Gezond en goed van kleur, 4 toef per pot en 2-4 scheuten per toef

In figuur 118 en figuur 119 is per ras de planthoogte per teeltronde weergegeven. In tabel 14 is de gemiddelde groei in cm per ras, per week weergegeven.



Figuur 118 Lengte bedrijf 2 teeltronde 1



Figuur 119 Lengte bedrijf 2 teeltronde 2

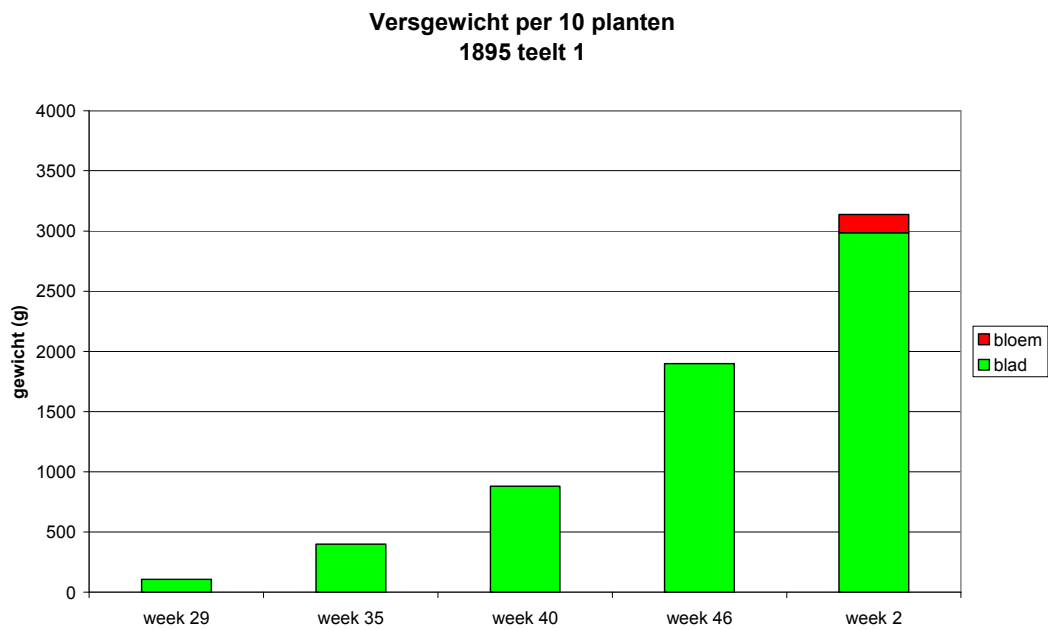
Tabel 14 Gemiddelde groeisnelheid in cm per week teeltronde's bedrijf 2

Teelt	ras	1e 4 wk	2e 4 wk	3e 4 wk	4e 4 wk	5e 4 wk	6e 4 wk	gem
1	1895	2.17	2.67	2.46	3.66	2.76	0.93	2.44
	2944	2.15	2.31	2.22	2.95	2.27	0.39	2.05
2	2941	0.53	1.11	1.47	2.02	3.64	3.57	2.06
	2944	0.55	1.16	1.08	1.96	3.22	3.45	1.90

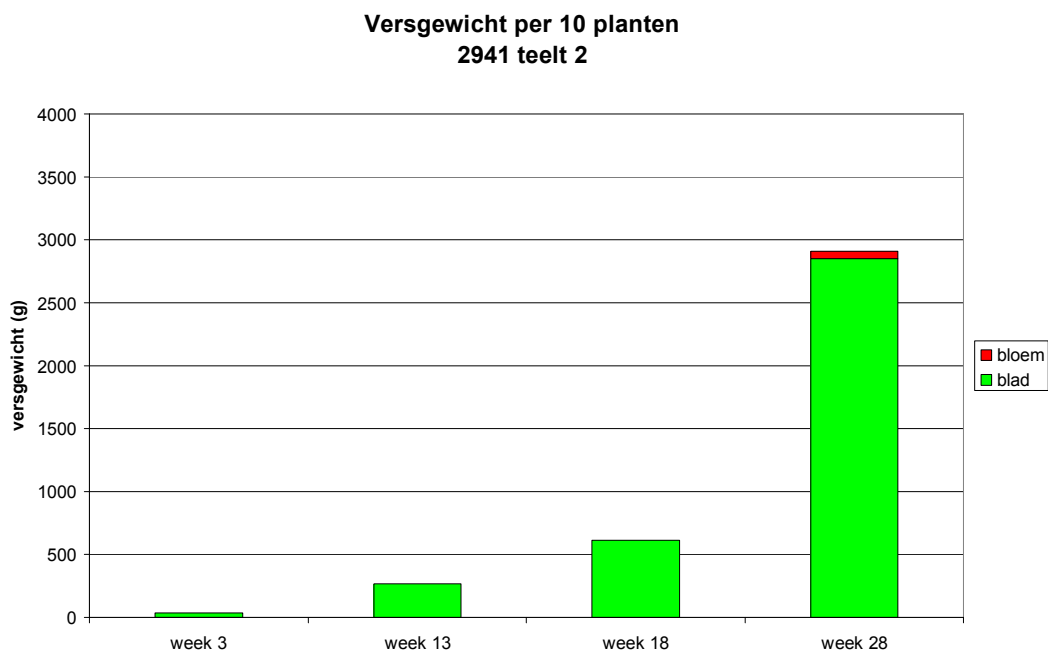
Gemiddeld groeien de Spathiphyllum 2,1 cm per week. 1895 en 2941 groeien gemiddeld iets sneller (2,25 cm per week) dan 2944 (1,97 cm per week). De lengtegroei verloopt in het algemeen via een s-curve. Bij aanvang neemt de groei gestaagd toe, waarna deze versnelt groeit en vervolgens weer afneemt aan het einde van de teelt.

In de figuren 120 tot en met 131 zijn de plantgewichten (vers- en drooggewicht) weergegeven van 1895, 2941 en 2944. Ook bij deze rassen schommelt het droge stof percentage van de planten tussen de 9 en 10%.

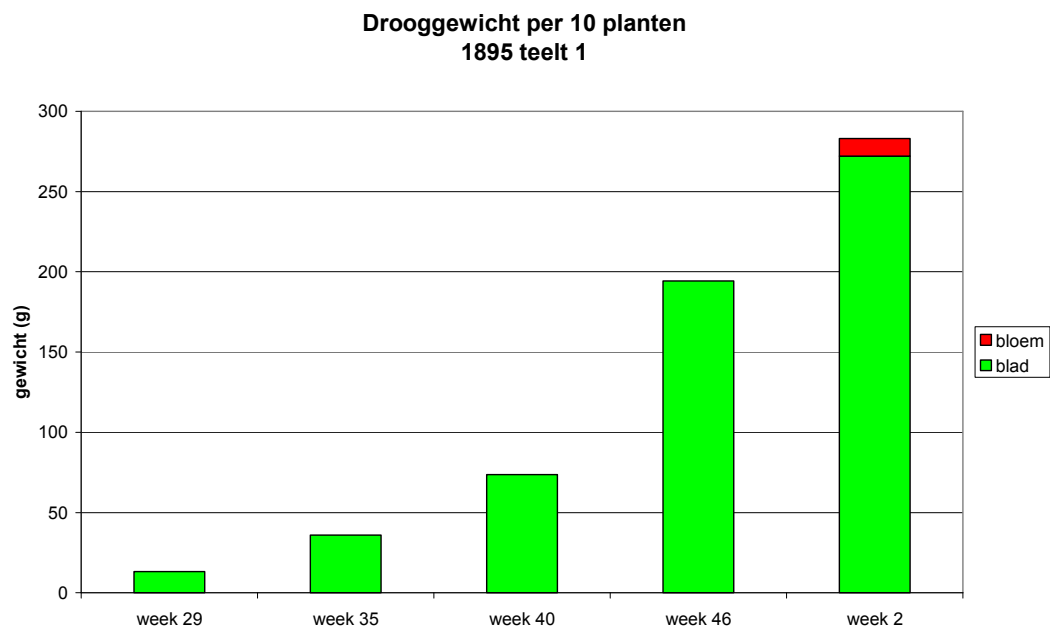
Het GrowSense model gaat uit van droge stof aanmaak. In de figuren is tevens de gemiddelde groei in drooggewicht per plant, per week weergegeven van de diverse teeltperiodes. De groeisnelheid bij '1895' varieert van 0,38 tot 2,01 g droge stof per plant per week afhankelijk van het teeltstadium en van de teeltperiode. Bij '2941' ligt dit op een vergelijkbaar niveau van 0,26 tot 2,09 g droge stof per week per plant. Bij '2944' ligt dit op een iets lager niveau en varieert van 0,26 tot 1,90 g droge stof per week per plant. De verschillen in groeisnelheid zijn echter ook hier groot tussen de verschillende teeltfasen. Hierbij is de bloemaanleg buiten beschouwing gelaten.



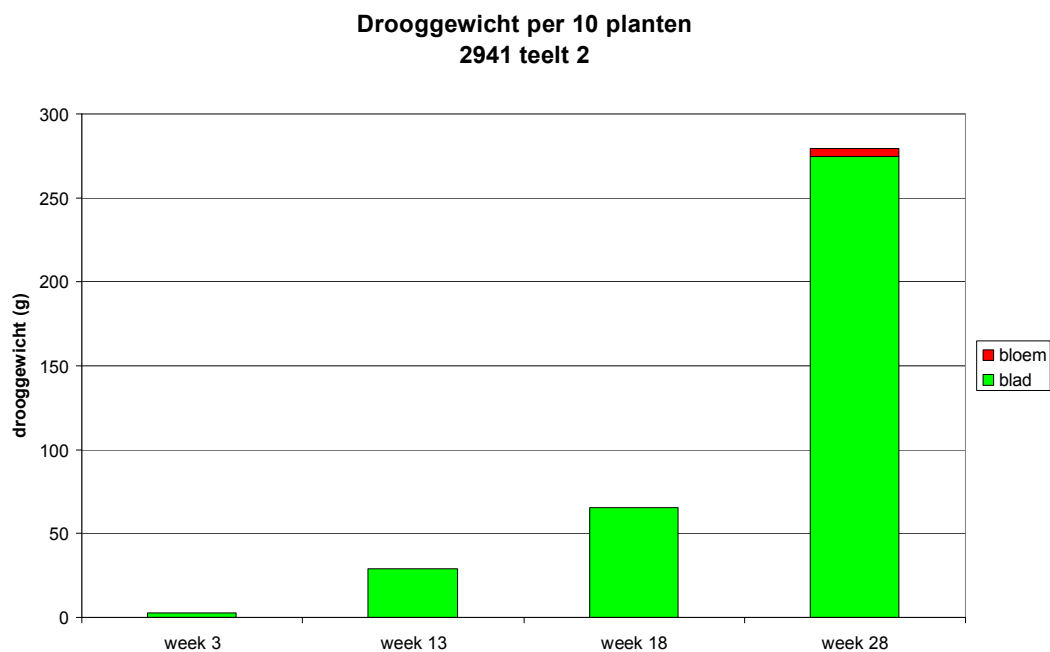
Figuur 120 Versgewicht 1895 teeltronde 1



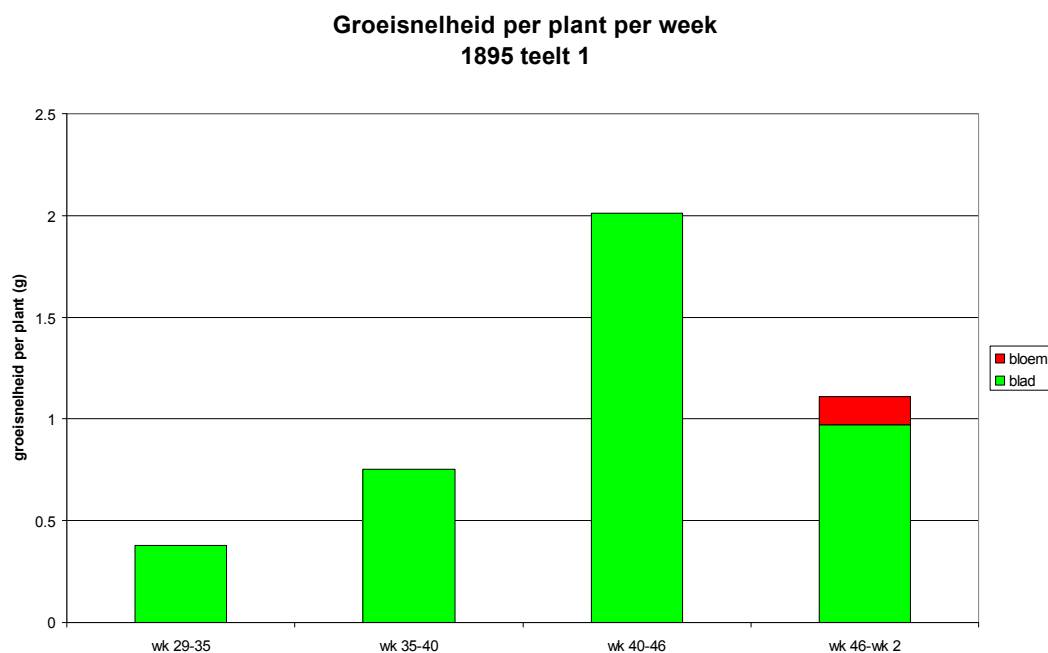
Figuur 121 Versgewicht 2941 teeltronde 2



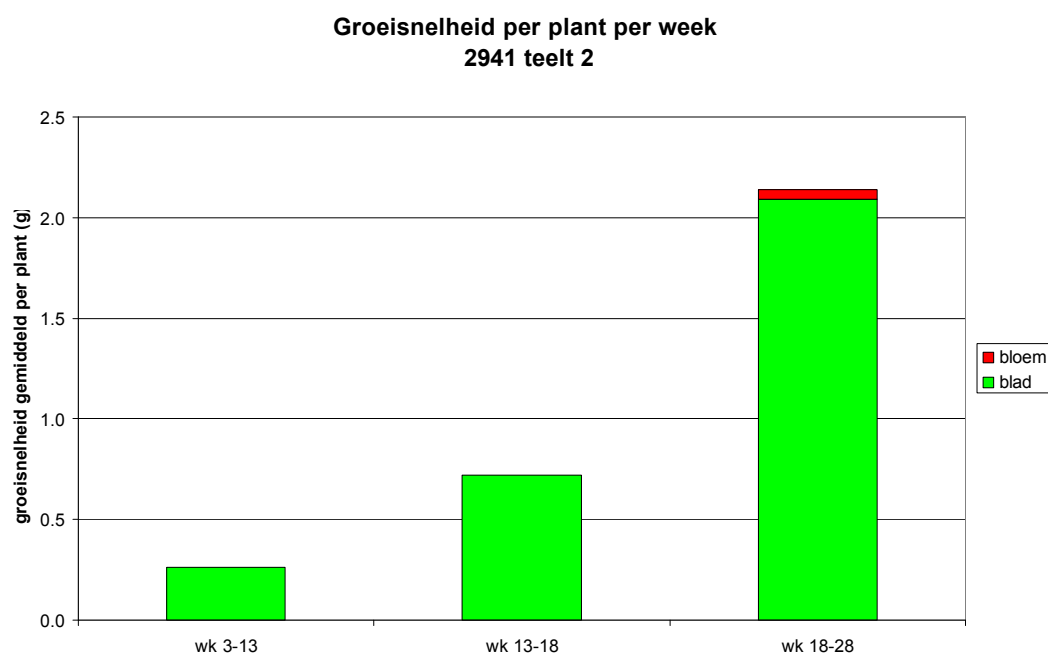
Figuur 122 Drooggewicht 1895 teeltronde 1



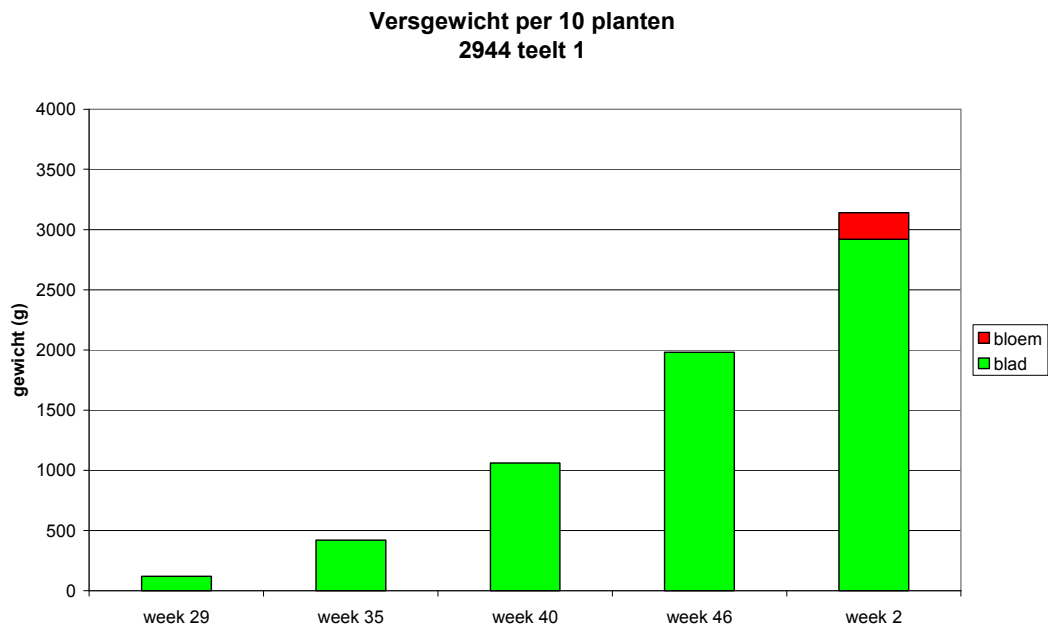
Figuur 123 Drooggewicht 2941 teeltronde 2



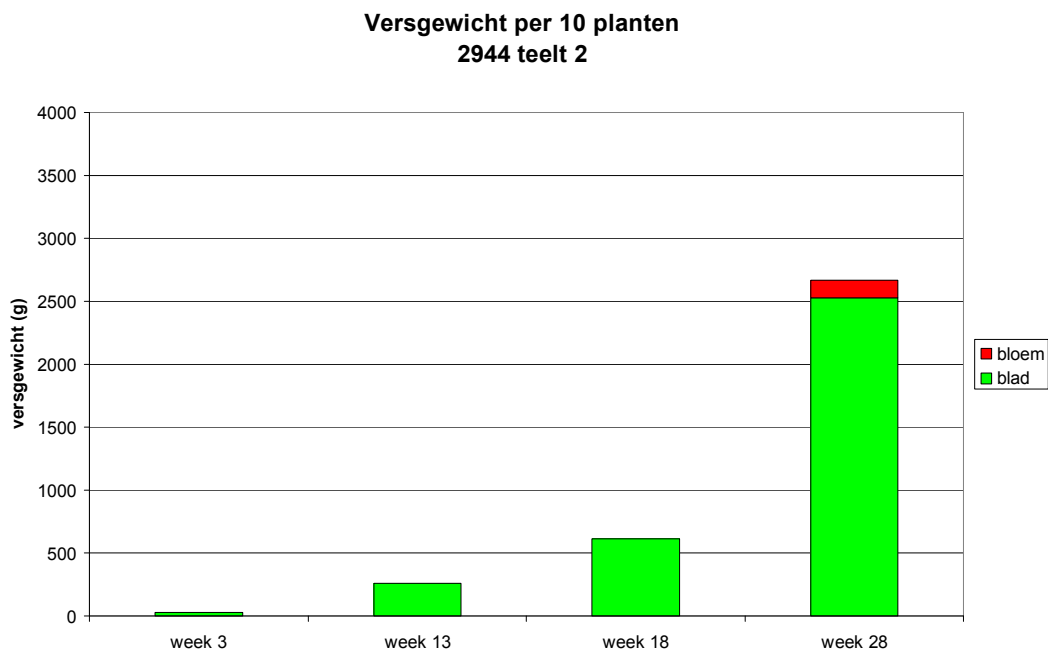
Figuur 124 Toename drooggewicht per plant per week 1895 teeltronde 1



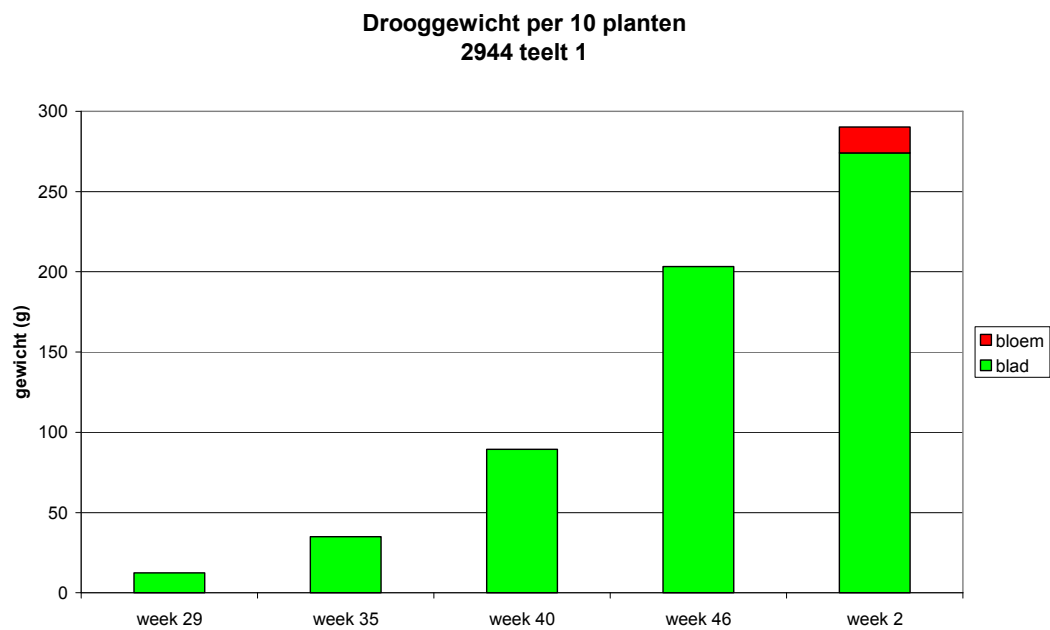
Figuur 125 Toename drooggewicht per plant per week 2941 teeltronde 2



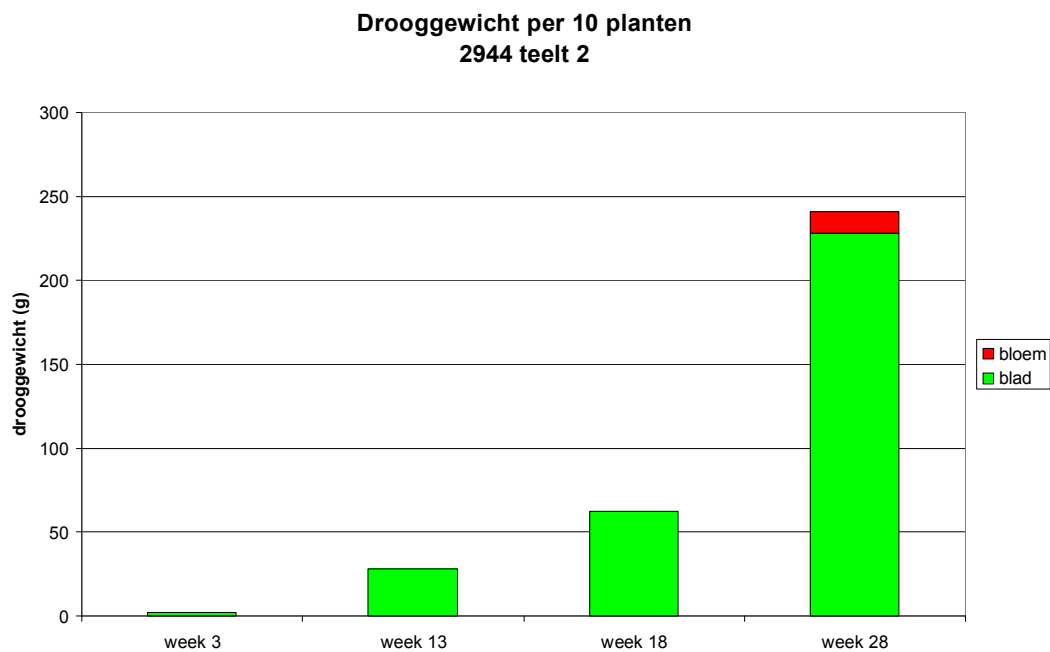
Figuur 126 Versgewicht 2944 teeltronde 1



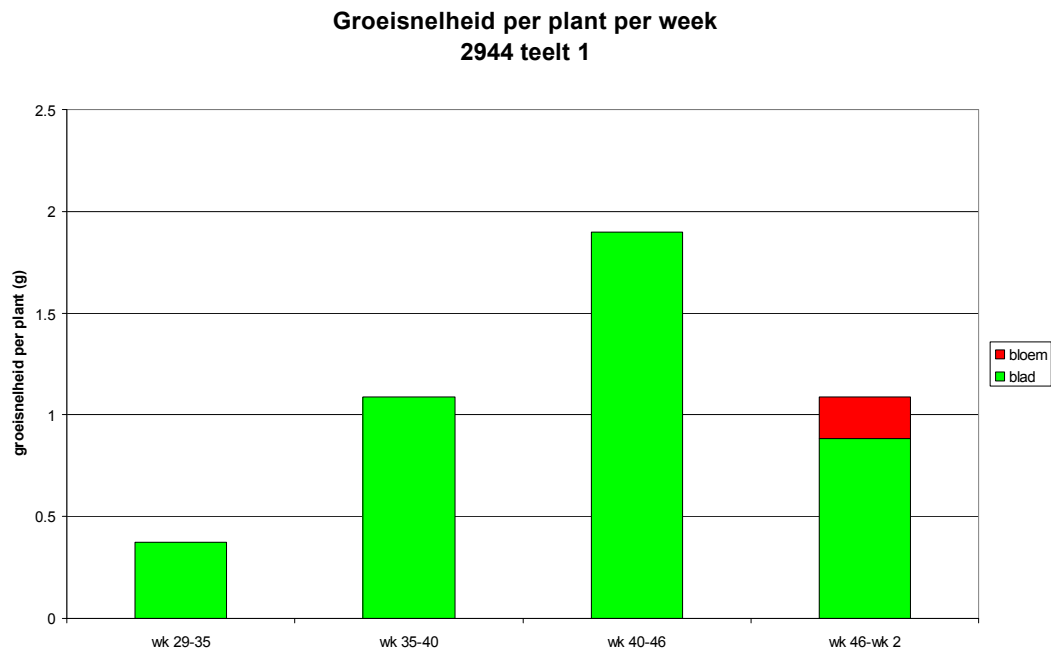
Figuur 127 Versgewicht 2944 teeltronde 2



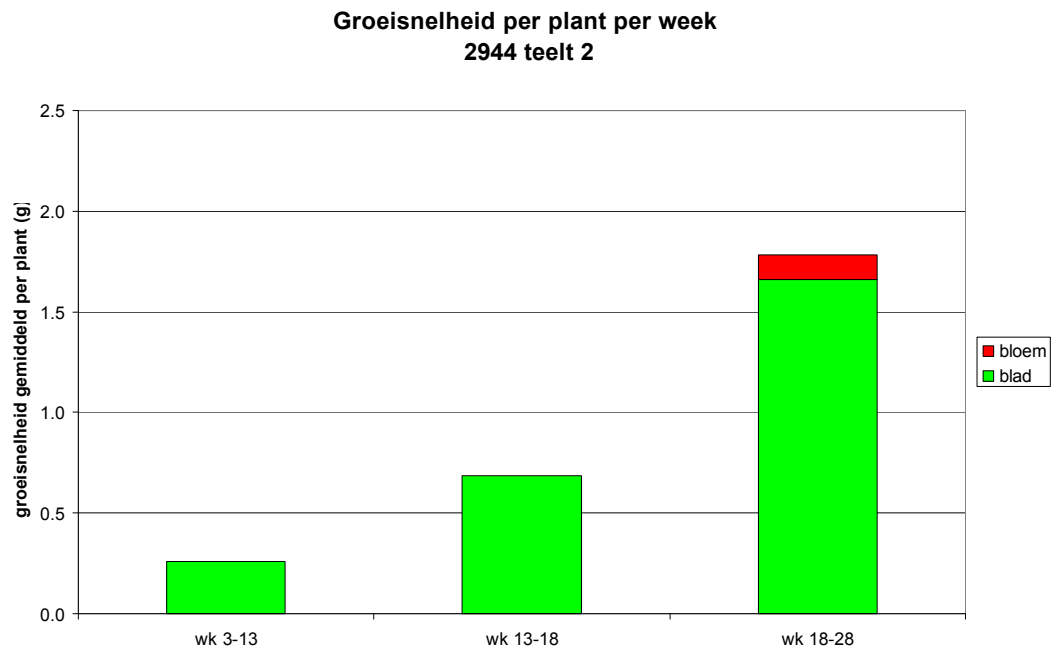
Figuur 128 Drooggewicht 2944 teeltronde 1



Figuur 129 Drooggewicht 2944 teeltronde 2



Figuur 130 Toename drooggewicht per plant per week 2944 teeltronde 1



Figuur 131 Toename drooggewicht per plant per week 2944 teeltronde 2

In tabel 15 is het aantal bloemen en knoppen per plant van elke teelt weergegeven.

Tabel 15 Gemiddeld aantal bloemen en knoppen per ras, per teeltronde

		teelt 1	teelt 2	teelt 3
Chopin	Bloemen	11.35	4.95	10.20
	Knoppen	0	3.35	0
Tango	Bloemen	3.10	2.20	4.25
	Knoppen	0	3.00	0.95
		teelt 1	teelt 2	
1895/2941	Bloemen	2.85	0.40	
	Knoppen	2.00	1.05	
2944	Bloemen	5.15	4.65	
	Knoppen	1.70	0.50	

10.4 Klimaat- en growlab waarnemingen

Tijdens de monitoringsperiode zijn veel gegevens verzameld. De verzameling van de gegevens vond plaats met de growlab die in het gewas opgesteld stond.



Figuur 132 Proefopstelling growlab in Spathiphyllum

Periodiek zijn de gegevens nader geanalyseerd met o.a. multiple regressie analyse. Hierbij een aantal resultanten van deze analyses. De assimilatie hangt in bepaalde periodes o.a. sterk samen met:

- PAR
- CO₂
- RV

- VPD
- Planttemperatuur
- Kastemperatuur

De NPQ (Non Photochemical Quenching) ofwel licht belasting of plantenstress hangt o.a. samen met:

- VPD
- RV
- Kastemperatuur
- Planttemperatuur
- PAR

11 Uitbreiding van de metingen bij diverse potplanten

11.1 Inleiding

Het project 'GrowSense' heeft zich in eerste instantie gericht op de pilotgewassen Kalanchoe, potanthurium en Spathiphyllum. Dit zijn gewassen binnen de potplantenteelt die ten aanzien van klimaatbehoefte gericht op temperatuur en licht duidelijk van elkaar verschillen, zodat de toepasbaarheid breed onderzocht wordt en de resultaten makkelijk te vertalen zijn naar andere gewassen. Vanuit diverse andere gewascommissies in de potplantenteelt werd de vraag gesteld voor de ontwikkelingsmogelijkheden van een gewasspecifieke groeilijn voor meerdere gewassen. Naar aanleiding hiervan heeft een uitbreiding plaatsgevonden. De verslaglegging hiervan is weergegeven in hoofdstuk 11 en 12.

Het hier beschreven onderzoek is gericht op de variatie in de fotosynthese van verschillende potplanten gewassen. Dit onderzoek is een primeur in die zin dat er voor het eerst systematisch is gekeken naar de regulering van onderliggende fotosynthese processen bij een grote groep van verschillende potplanten.

Fotosynthese is de motor van de groei en de productie. Het maximale niveau van de fotosynthese bepaalt de groeikracht van de plant en die wordt sterk bepaald door genetische eigenschappen. Toch zijn er ook algemeen geldende regels over alle gewassen heen: de groeikracht wordt hoger bij een toename van licht, een toename in de CO_2 concentratie en bij een hogere geleidbaarheid van de huidmondjes. De huidmondjes reageren sterk op het dampdruk deficit van het blad (VPD_{blad}). De VPD_{blad} is het verschil tussen de verzadigde waterdampspanning bij de heersende bladtemperatuur in het blad en de dampspanning van water in de kas. De manier waarop de huidmondjes reageren is ook weer gewasafhankelijk.

Uit deze studie blijkt dat de gewas- en rasafhankelijke verschillen in fotosynthese erg groot zijn, zowel in hun reacties op licht, als in interactie met de VPD_{blad} . De VPD_{blad} heeft een groot effect op de huidmondjesopening. Huidmondjes beginnen zich meestal te sluiten vanaf 0,6 – 1,2 kPa, afhankelijk van het gewas/ras, het tijdstip op de dag en het teeltstadium. Uit deze studie blijkt echter dat sommige gewassen veel hogere waarden kunnen tolereren.

Hoewel de economische optimalisatie niet alleen bepaald wordt door groeikracht, cq fotosynthese, is die groeikracht relatief snel en doeltreffend met 4 parameters te karakteriseren. Hierbij is de relatie tussen VPD_{blad} en huidmondjesgeleidbaarheid cruciaal. Een combinatie van een dergelijke groeikarakteristiek, ofwel planten paspoort, en een evaluatie van plantmorfologie waarin bladontwikkeling en plantkwaliteit worden meegewogen is een potentiële basis voor de economische optimalisatie van de potplantenteelt.

11.2 Materiaal en methode

De metingen werden verricht in een volledig geconditioneerde kas met assimilatiebelichting ($140 \mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$ met SON-T Agro) en koeling. De metingen vonden plaats in de maanden februari – april aan 10 verschillende soorten potplanten en van elk gewas 2 rassen. Het setpoint voor de dag-nacht temperatuur was $18/18^\circ\text{C}$ en de RV was tot 12 maart 75 - 80% en daarna 62 - 65%. De assimilatiebelichting werd van 4:00 uur tot 20:00 uur aangeschakeld bij een buitenstraling lager dan 250 W/m^2 . Bij een globale straling van 400 W/m^2 werd de assimilatiebelichting uitgeschakeld. Het kasklimaat werd geregistreerd met een GrowWatch monitoring opstelling.

11.3 Keuze van gewas en ras

In samenspraak met de BCO Potplanten en de diverse gewascommissies van LTO Groeiservice is het onderzoek uitgevoerd met de volgende gewassen:

- Begonia, grootbloemig: 'Baladin', halfgevuldbloemig: 'Britt'
- Bromelia, Vriesea 'Charlotte' en Guzmania 'Jazz'
- Cyclamen, grootbloemig: XL, mini: Winter.
- Ficus, 'Danielle' en 'Golden King'
- Hortensia, 'Schneeball' en 'Renate Steiniger'
- Poinsettia, 'Christmas Feeling' en 'Viking'
- Potchrysant, 'Swing Time' en 'Omega Time'
- Saintpaulia, 'Cilia' en 'Sonja'
- Schefflera 'Nora' en 'Gerda'
- Varens Nephrolepis 'Boston' en Asplenium nidus.

11.4 Meetschema

1-2-2008	Inzet van planten en acclimatie periode.
13-2-2008	GrowWatch geïnstalleerd, meten licht response curves.
14-2-2008	Licht response curves en CO_2 response curves.
15-2-2008	Licht response curves.
24-2-2008	Licht response curves, simultane metingen met 3 LiCor-6400.

Metingen van huidmondjesgeleidbaarheid (

Figuur 133) werden verricht op 14-feb-08, 15-feb-08, 12-mrt-08, 13-mrt-08 ochtend, 13-mrt-08 middag, 14-mrt-08, 2-apr-08, 16-apr-08. De geleidbaarheid werd bepaald met de Degacon Porometer (minimaal 4 bladeren per ras). De porometer waarden werden vervolgens geijkt met de LiCor. De uiteindelijk geregistreerde waarden van de Decagon werden met de LiCor referenties gecorrigeerd.



Figuur 133 Meting van huidmondjesgeleidbaarheid en fotosynthesemetingen

De planten stonden op schotels en tweemaal daags werd op de schotels water gegeven behalve in het geval van de bromelia's die water kregen toegediend in de bladkoker. Voeding werd eenmaal per week gedoseerd ($EC = 1 \text{ mS/cm}$) op de schotel.

Lichtresponse curves werden bepaald in een oplopende reeks:

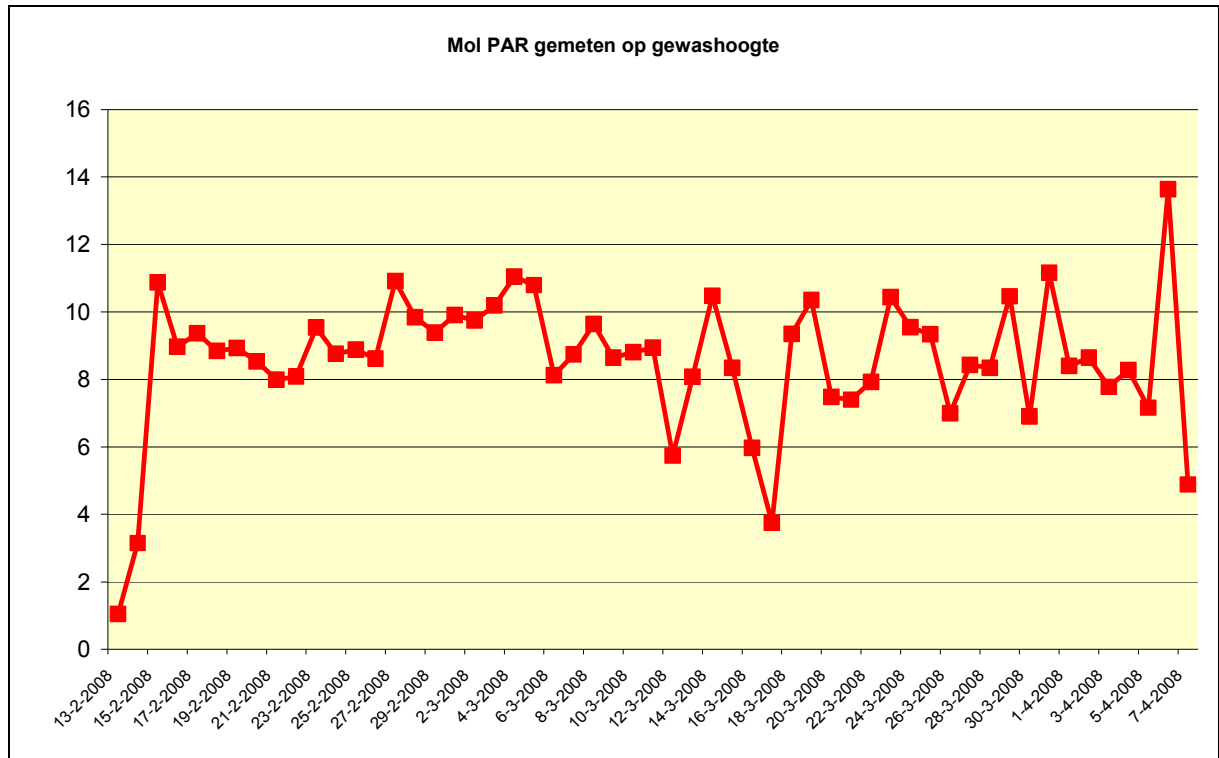
- 0 – 50 – 100 – 200 – 400 – 600 – 800 $\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$ PAR (bij 600 ppm CO_2).

CO_2 curves werden bepaald in oplopende reeks:

- 100 – 300 – 600 – 1200 – 1500 ppm CO_2 (bij 600 of 800 $\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$ PAR).

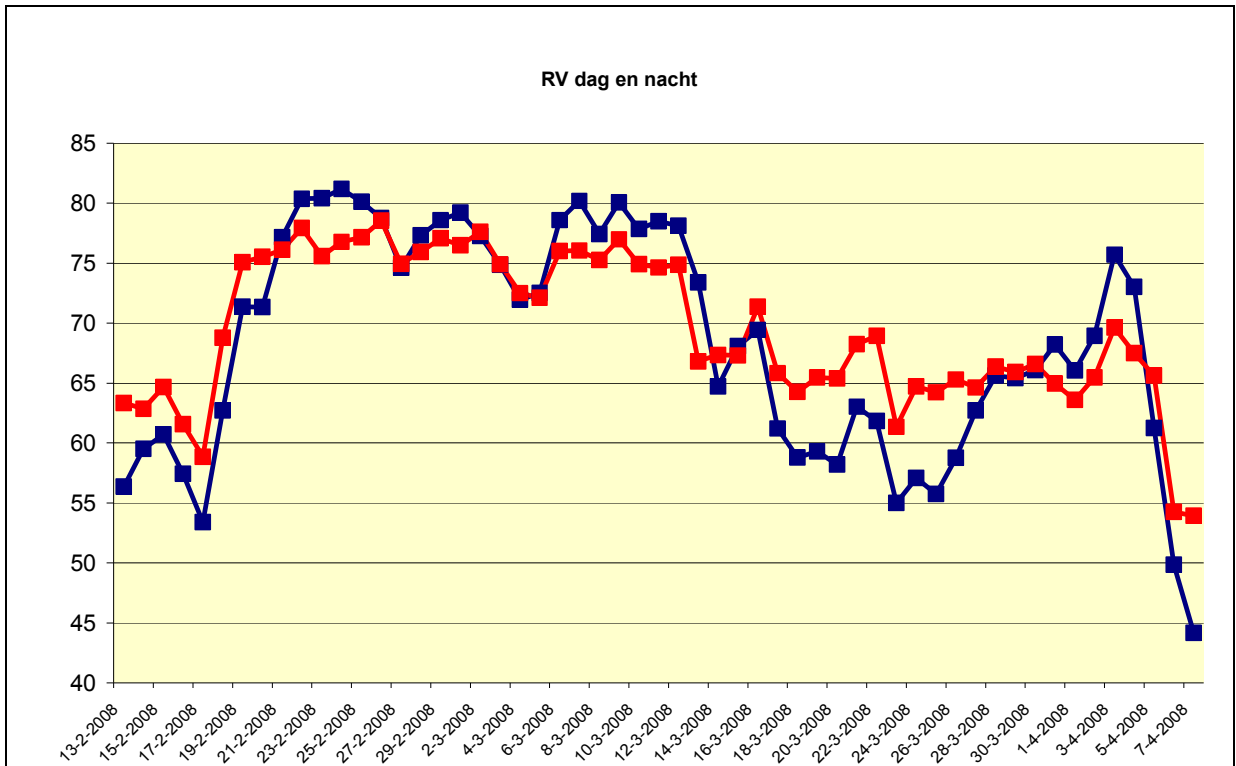
11.5 Klimaatomstandigheden tijdens metingen

In Figuur 134 is de dagelijkse lichtsom op gewashoogte weergegeven.

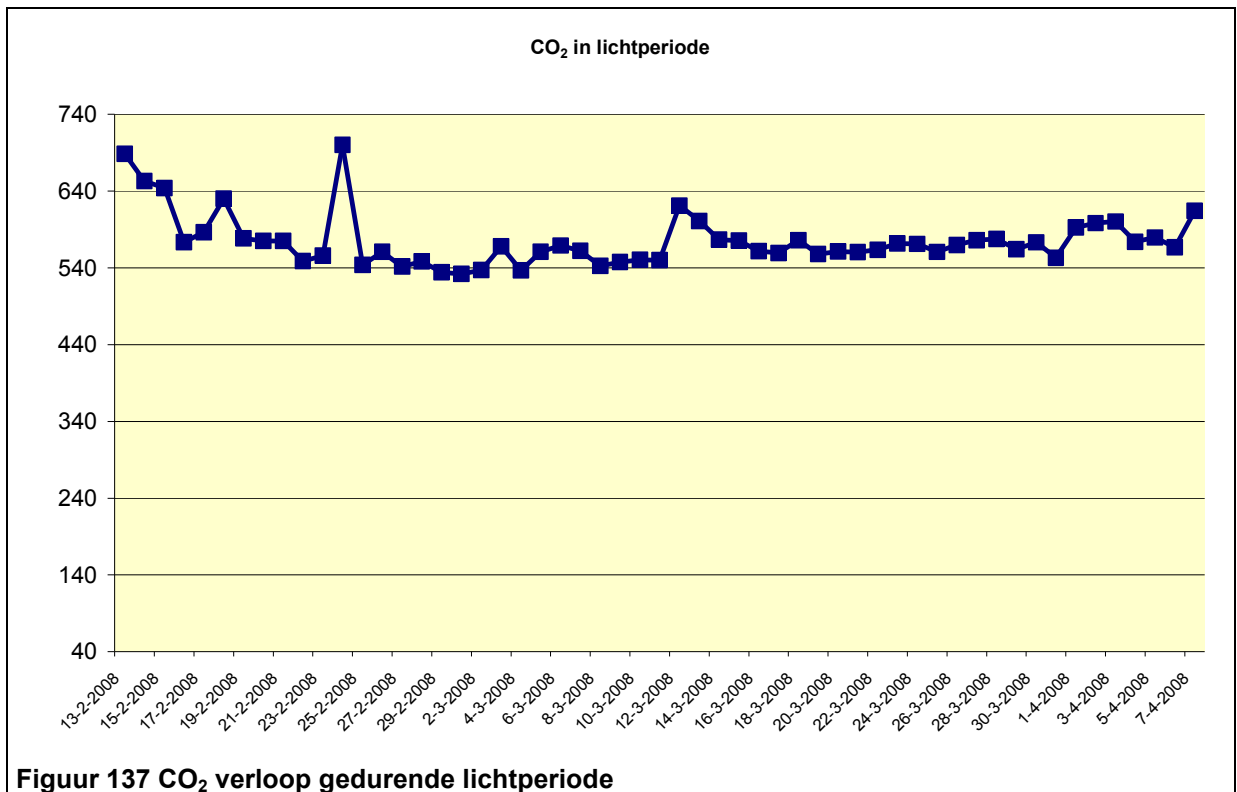


Figuur 134 Par licht verloop gedurende de periode

In de volgende figuren zijn respectievelijk de RV en de temperatuur weergegeven. De rode lijnen geven de metingen weer tijdens lichtperiode. De blauwe lijnen de metingen tijdens donkerperiode.



De CO₂ concentratie gedurende de lichtperiode is hieronder weergegeven.



12 Resultaten metingen bij diverse potplanten

12.1 Verloop van de huidmondjes geleidbaarheid over de dag

Studies van huidmondjesgeleidbaarheid (g_s) zijn gecompliceerd en vereisen veel waarnemingen. De resultaten in dit hoofdstuk geven een goede eerste impressie van de bestaande variatie binnen het potplanten assortiment. Behalve voor g_s onder optimale omstandigheden, zijn er ook verschillen in de afhankelijkheid van de VPD_{blad} geconstateerd. Door het grote aantal gewassen en rassen en de beperkte proefduur is het belangrijk om te melden dat de relatie tussen VPD_{blad} en huidmondjesgeleidbaarheid in deze studie weliswaar een goede eerste benadering geeft maar dat hier nog niet van een vastgesteld quantitatief onderbouwd verband kan worden gesproken. Daarvoor zijn per gewas aanvullende metingen nodig. In de betreffende figuren is de spreiding te zien en daaruit valt onmiddellijk af te leiden dat die nu nog vrij groot is. Uit eerdere studies van Plant Dynamics bij roos, tomaat en gerbera bleek er naast de rasvariatie, ook vaak een variatie van g_s over de dag te bestaan.

In Tabel 16 is dat uitgewerkt voor de bestudeerde potplanten. De meetwaarden van g_s werd op 2 tijdstippen van de dag (14 februari) geregistreerd. Uit de resultaten blijkt voor een $VPD_{blad} < 1.2$ kPa een redelijk vlak patroon voor g_s . Tolerante gewassen laten ook nauwelijks een afname laten zien bij een hoge VPD_{blad} , zoals wordt geïllustreerd door de beide ficusrassen. De VPD_{blad} van Ficus was hoog vanwege de lage geleidbaarheid die op haar beurt een verhoogde bladtemperatuur veroorzaakte. De afname werd deels veroorzaakt door een lagere VPD_{blad} als gevolg van een stijging van de bladtemperatuur door instraling.

Gewassen waarbij de huidmondjesgeleidbaarheid bij een relatief lage VPD_{blad} toeneemt zijn Chrysant en Cycloam (mini). Bij Begonia (Britt) was een afname te zien maar die kan verklaard worden uit de relatief hoge VPD_{blad} (1,54) in de middag.

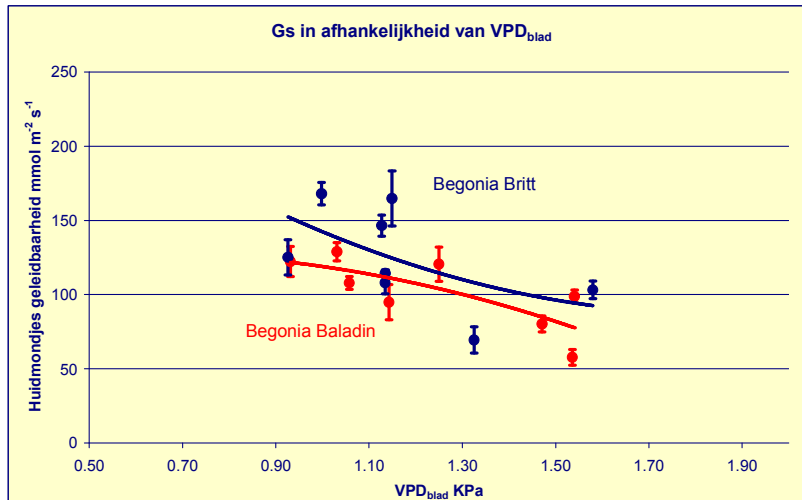
De Bromelia soorten hebben een dermate lage geleidbaarheid, vanwege het CAM mechanisme of vanwege de zeer lage basisgeleidbaarheid, dat die metingen niet betrouwbaar zijn.

Tabel 16 Meetwaarden bij verschillende potplanten

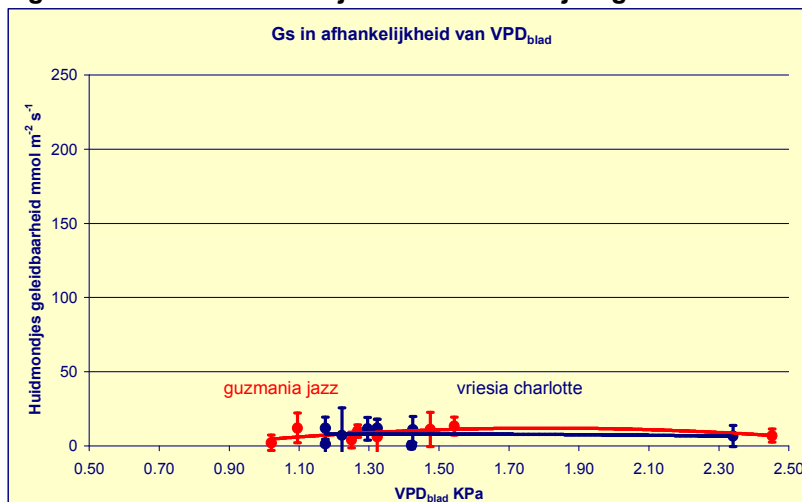
soort	ras	tijd	Tlucht	Tblad	VPDblad kPa	gemiddeld	s.e.
begonia	britt	11:10	19.3			147	7
begonia	britt	15:30	20	21.6	1.54	114	2
begonia	baladin	11:00	19.3			122	10
begonia	baladin	15:30	20	24	1.13	99	4
bromelia	vriesia charlotte	14:00	22			0	0
bromelia	vriesia charlotte	15:30	20	28	2.45	7	1
bromelia	guzmania jazz	14:00	22			6	2
bromelia	guzmania jazz	15:30	20	28.5	2.34	7	1
chrysant	swing time	15:15	19.3			211	17
chrysant	swing time	15:30	20	21.1	1.04	194	28
chrysant	omega time	15:10	19.3			145	5
chrysant	omega time	15:30	20	21	1.06	161	8
cyklaam	xl	14:20	19.3			149	11
cyklaam	xl	15:30	20	22	1.04	134	10
cyklaam	mini winter	14:30	19.3			92	14
cyklaam	mini winter	15:30	20	21	1.20	189	18
figus	golden king	12:30	19.3			47	1
figus	golden king	15:30	20	24	1.45	84	2
figus	danielle	12:30	19.3			56	1
figus	danielle	15:30	20	23.5	1.54	87	7
hortensia	schneeball	13:50	19.3			187	9
hortensia	schneeball	15:30	20	21.8	1.20	145	15
hortensia	renate steiniger	13:50	19.3			205	13
hortensia	renate steiniger	15:30	20	22	1.17	256	9
pointsettia	viking	13:45	19.3			92	9
pointsettia	viking	15:30	20	22.2	1.19	141	6
pointsettia	christmas feeling	11:30	22			116	11
pointsettia	christmas feeling	13:15	19.3	21.2	1.08	52	6
saintpaulia	sonja	15:00	22			104	16
saintpaulia	sonja	15:30	20	21	1.12	101	17
saintpaulia	cilia	15:00	22			100	18
saintpaulia	cilia	15:30	20	22.1	2.12	49	1
schefflera	groen	12:10	19.3			204	7
schefflera	groen	15:30	20	22.6	1.10	164	4
schefflera	bont	12:00	19.3			160	9
schefflera	bont	15:30	20	21.4	1.30	193	24
varen	nephrolepis boston	13:30	22			44	4
varen	nephrolepis boston	15:30	20	24.8	1.88	36	6
varen	asplenium nidus	13:30	22			41	1
varen	asplenium nidus	15:30	20	25.8	1.69	21	1

12.2 Variatie in VPD_{blad} afhankelijke geleidbaarheid

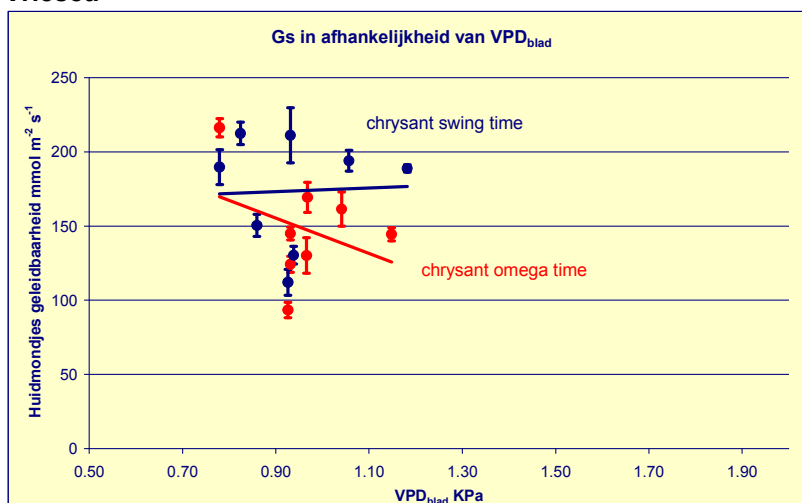
De variatie voor de huidmondjesgeleidbaarheid (g_s) tussen gewassen is erg groot. Dit geldt zowel voor de geleidbaarheid onder optimale omstandigheden als in de afhankelijkheid van VPD_{blad} . In het GrowSense model worden beide parameters gekarakteriseerd door A1 en D0. Hoe hoger A1 des te hoger de basis geleidbaarheid (bij een lage VPD en hoog licht) en hoe lager D0 des te groter de afhankelijkheid van VPD_{blad} .



Figuur 138 GS in afhankelijkheid van VPD bij Begonia



Figuur 139 GS in afhankelijkheid van VPD bij Guzmania en Vriesea



Figuur 140 GS in afhankelijkheid van VPD bij Chrysant

Hoge huidmondjes geleidbaarheid (g_s) bij Begonia (Figuur 138).

De verschillen tussen beide rassen zijn statistisch niet significant.

Schatting VPD_{blad} -afhankelijkheid van g_s , gemiddeld voor Begonia: $A1 = 5$, $D0 = 1,5$.

Het bleek niet mogelijk te zijn om betrouwbare schattingen te maken van de VPD_{blad} -afhankelijkheid van de huidmondjesgeleidbaarheid (g_s) van Bromelia, vanwege het CAM mechanisme (Vriesea) of vanwege de extreem lage basisgeleidbaarheid (Guzmania).

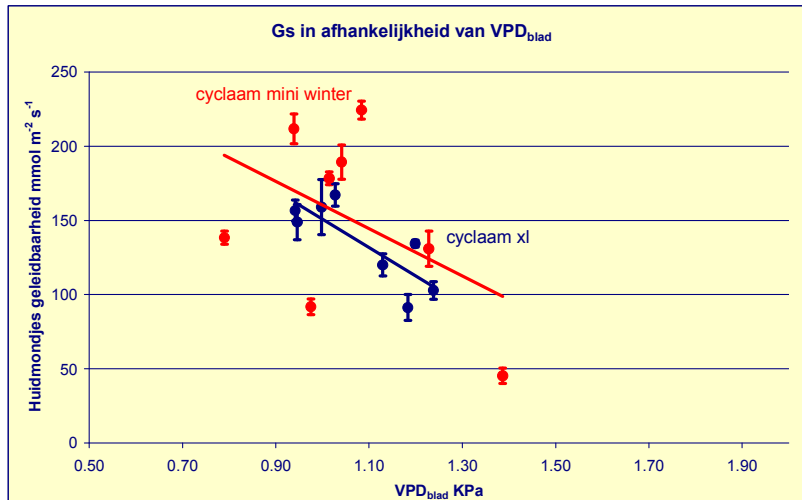
Het lijkt erop dat er nauwelijks een relatie is tussen de VPD_{blad} en g_s (Figuur 139).

Hoge geleidbaarheid en relatief stabiel bij toename van VPD_{blad} bij Chrysant (Figuur 140).

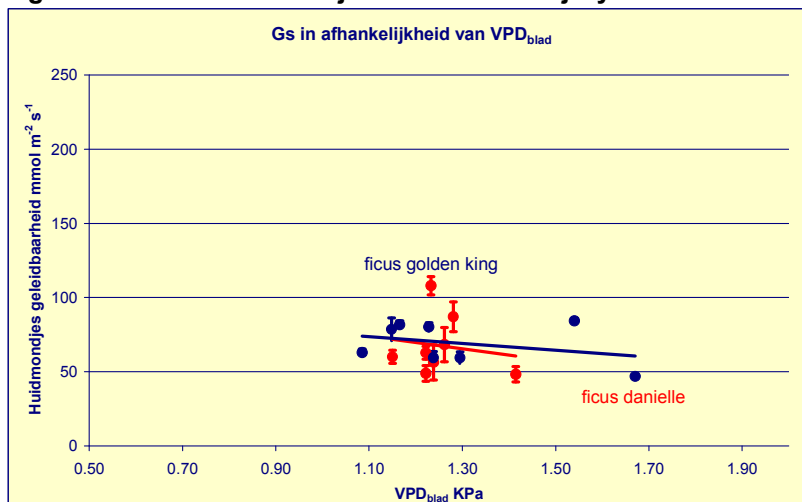
De verschillen tussen de rassen zijn statistisch niet significant.

De trend laat zien dat 'Omega Time' gevoeliger is voor een toename in VPD_{blad} dan 'Swing Time'.

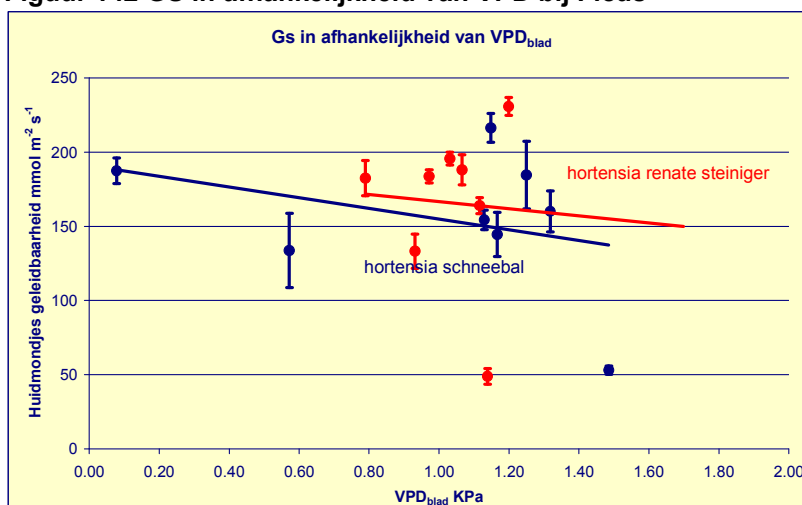
Schatting VPD_{blad} -afhankelijkheid, gemiddeld voor Chrysant: $A1 = 5$, $D0 = 2$.



Figuur 141 GS in afhankelijkheid van VPD bij Cyclopa



Figuur 142 GS in afhankelijkheid van VPD bij Ficus



Figuur 143 GS in afhankelijkheid van VPD bij Hortensia

Ook relatief hoge geleidbaarheden bij Cyclopa (Figuur 141).

Cyclopa is duidelijk gevoeliger voor een toename in VPD_{blad} dan Chrysant.

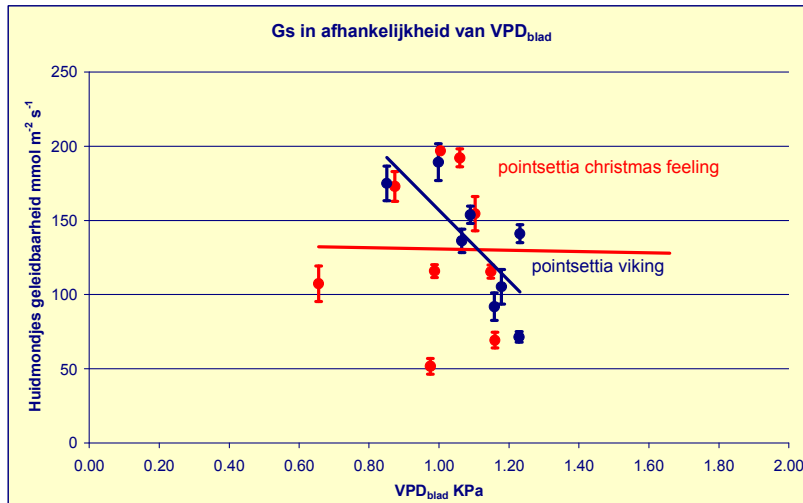
Schatting VPD_{blad} afhankelijkheid, gemiddeld voor Cyclopa: $A1 = 9$, $D0 = 0.8$.

Ficus, lage geleidbaarheid maar niet gevoelig voor VPD_{blad} (Figuur 142).

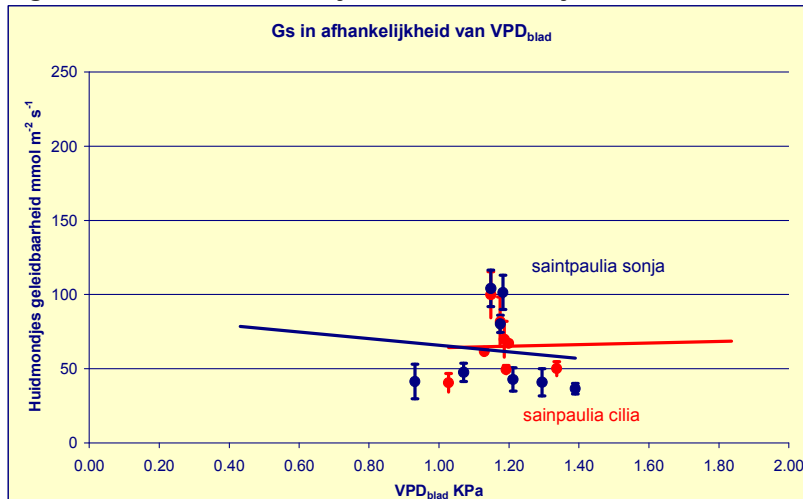
Schatting VPD_{blad} afhankelijkheid, gemiddeld voor Ficus: $A1 = 4$, $D0 = 3$.

Hortensia, hoge geleidbaarheid en verrassend ook een relatief ongevoelige gs als functie van VPD_{blad} (Figuur 143). Het is in dit verband goed om nog eens te benadrukken dat het hier handelt om relatief kortdurende verhoging van VPD_{blad} . Bij langdurige verhoging van VPD_{blad} kan het verband mogelijk anders liggen.

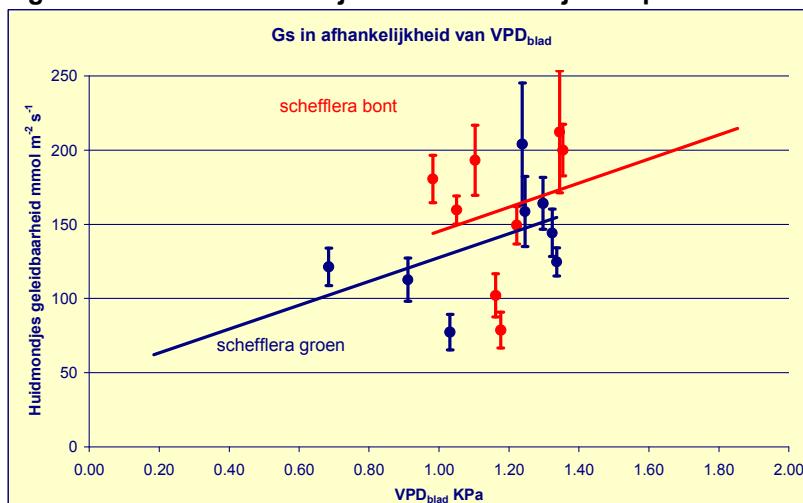
Schatting VPD_{blad} afhankelijkheid, gemiddeld voor Hortensia: $A1 = 7$, $D0 = 2$.



Figuur 144 GS in afhankelijkheid van VPD bij Poinsettia



Figuur 145 GS in afhankelijkheid van VPD bij Saintpaulia



Figuur 146 GS in afhankelijkheid van VPD bij Schefflera

Poinsettia is een middenmoter wat de geleidbaarheid betreft (Figuur 144).

De 2 rassen lijken erg verschillend maar dat wordt door slechts 1 enkel punt veroorzaakt.

Schatting VPD_{blad}afhankelijkheid, gemiddeld voor Poinsettia:

Christmas Feeling

A1 = 6, D0 = 1.5

Viking

A1 = 6, D0 = 0.4

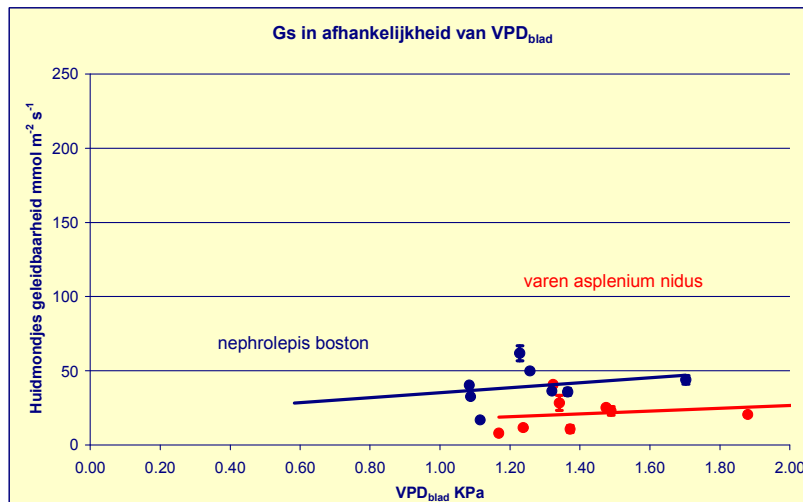
Lage geleidbaarheden bij Saintpaulia (Figuur 145).

Schatting VPD_{blad}afhankelijkheid, gemiddeld voor Saintpaulia: A1 = 6, D0 = 2.

Onverwacht hoge geleidbaarheid bij Schefflera (Figuur 146).

De geleidbaarheden lijken zelfs op te lopen met een toename van VPD_{blad}. Dat is niet uitgesloten (bijvoorbeeld door de hogere bladtemperatuur), maar het is waarschijnlijker dat de toename wordt veroorzaakt door (onbekende) toevallige positieve condities die samenvielen met de hogere VPD_{blad}.

Schatting VPD_{blad}afhankelijkheid, gemiddeld voor Schefflera: A1 = 8, D0 = 8.



Figuur 147 GS in afhankelijkheid van VPD bij varens

Zeer lage geleidbaarheid voor de varens (Figuur 147).

Schatting VPD_{blad} afhankelijkheid, gemiddeld voor de varen soorten:

Nephrolepis: $A1 = 8$, $D0 = 8$

Asplenium: $A1 = 4$, $D0 = 8$

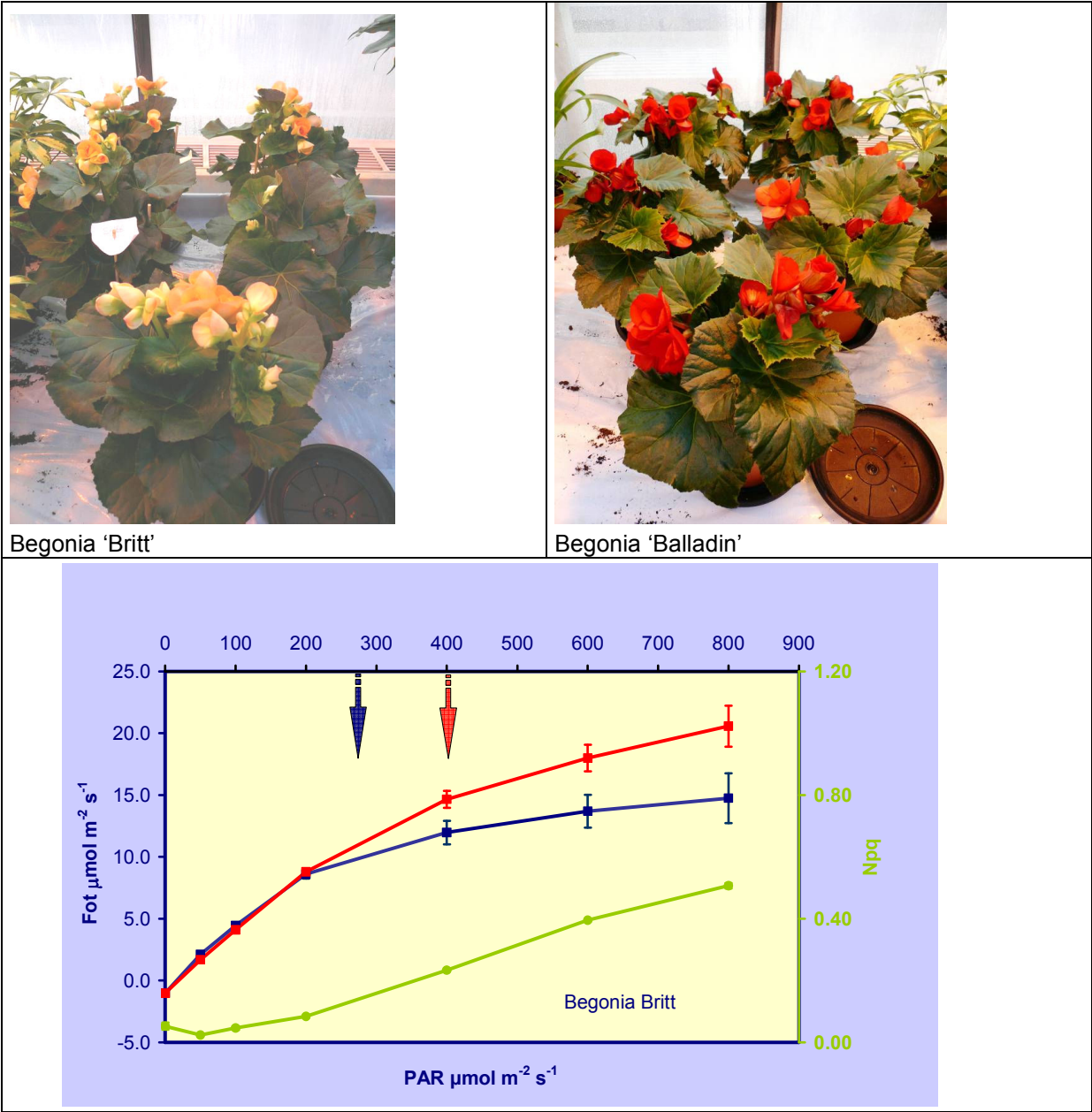
12.3 Fotosynthesemetingen: spreiding tussen cultivars en invloed licht

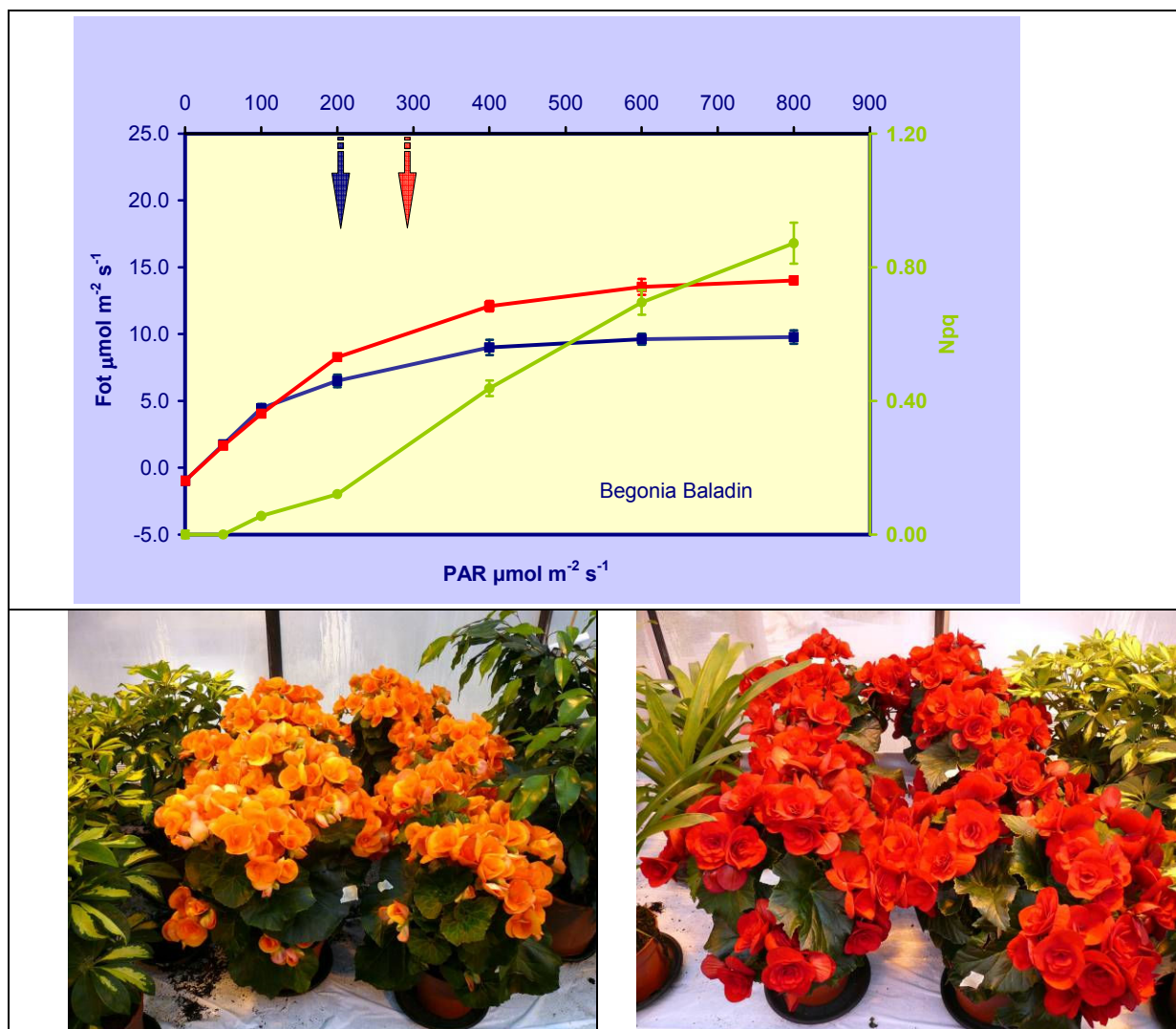
Er bleek een grote variatie te bestaan voor de twee belangrijkste sleutelprocessen van de fotosynthese. De fotosynthese capaciteit, bepaald door de energievastlegging, en de snelheid van CO_2 binding. De blauwe lijnen, in de volgende figuren, tonen de relatie tussen licht en CO_2 binding. Deze metingen zijn mede bepalend voor de plantparameter V_{max} (Tabel 27). De rode lijnen laten de fotosynthese capaciteit zien op basis van fluorescentiemetingen. De rode lijnen representeren de fotosynthese als de huidmondjes op dat moment geheel openstaan. Deze metingen zijn mede bepalend voor de plantparameter J_{max} (Tabel 27). Dat wil overigens niet zeggen dat de relatie tussen de lichtintensiteit en de fotosynthese capaciteit altijd hetzelfde is. Onder invloed van stress of deficiënties in de voeding kan de relatie drastisch wijzigen. Tijdens dit experiment is er echter een stabiel verloop van de fotosynthese capaciteit vastgesteld zonder dramatische effecten van de wisselingen in VPD_{blad} .

De groene lijnen zijn afgeleid uit fluorescentiemetingen. De daaruit afgeleide parameter N_{pq} is een soort toerental van de fotosynthese motor. Als dit toerental te hoog oploopt terwijl de fotosynthese nauwelijks meer toeneemt, is er sprake van stress. Op basis van het verloop van N_{pq} en de fotosynthese in afhankelijkheid van de lichtintensiteit, kan de optimale lichtintensiteit bepaald worden. Verder kan uit het verloop van die metingen het niveau worden bepaald waarboven een onaanvaardbare stress verwacht mag worden. In de figuren zijn deze niveaus geschat en als een blauwe pijl (optimaal) en een rode pijl (grenswaarde waarboven stress optreedt) gemarkeerd. De waarden zijn indicaties op basis van een beperkt aantal metingen en dienen daarom niet als absolute aanbevelingen te worden beschouwd.

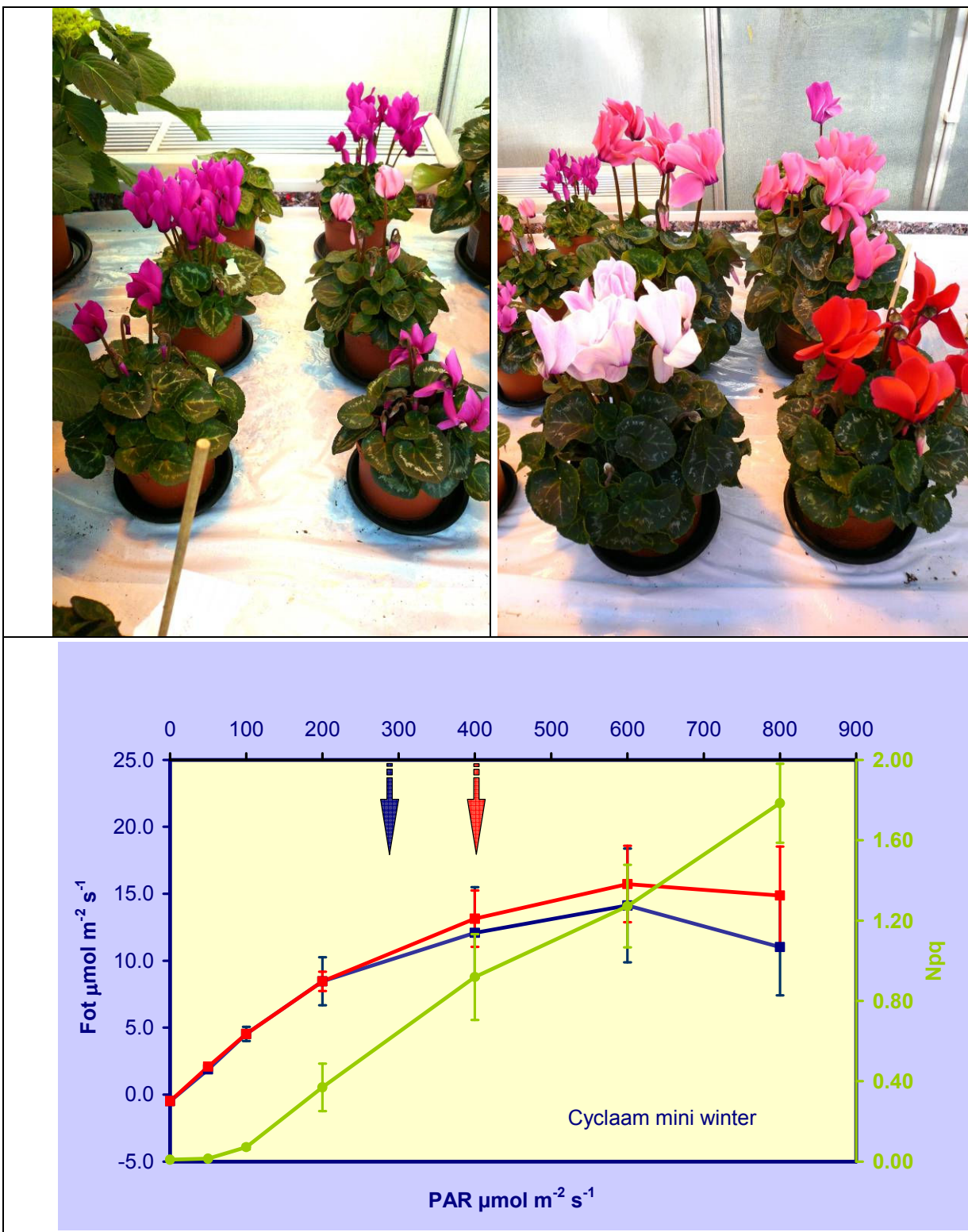
In tabel 17 tot en met tabel 26 zijn afbeeldingen en figuren met betrekking tot de relatie PAR en fotosynthese weergegeven per gewas.

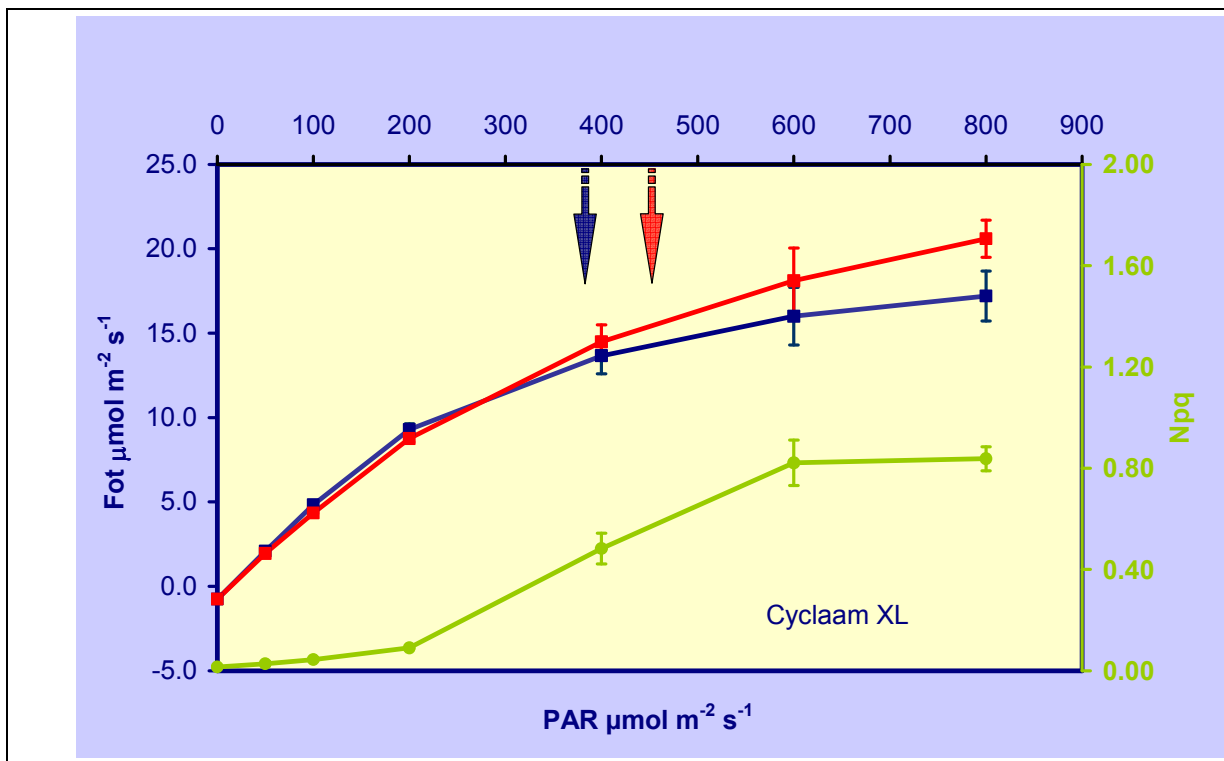
Tabel 17 Overzicht Begonia





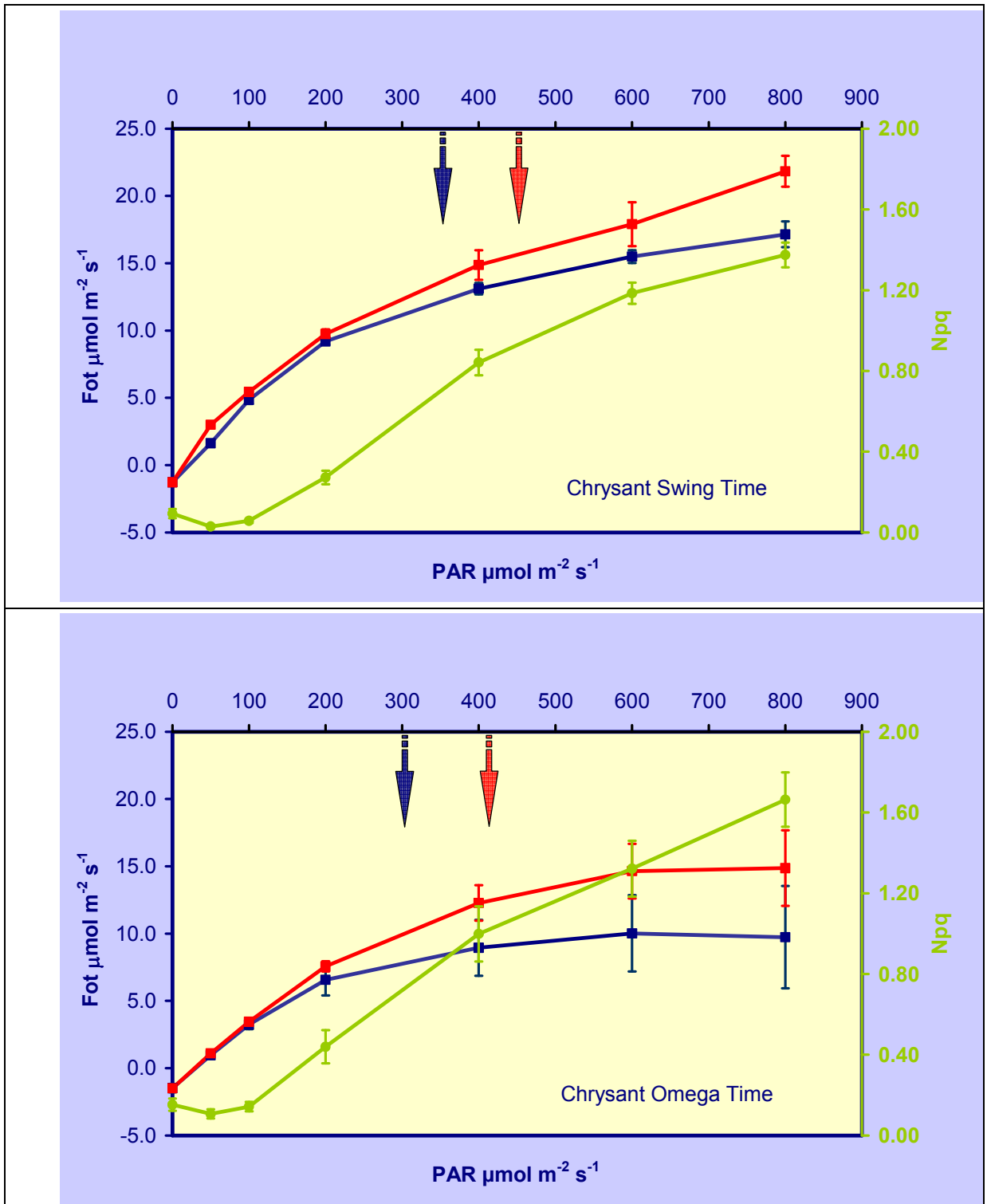
Tabel 18 Overzicht Cycloam



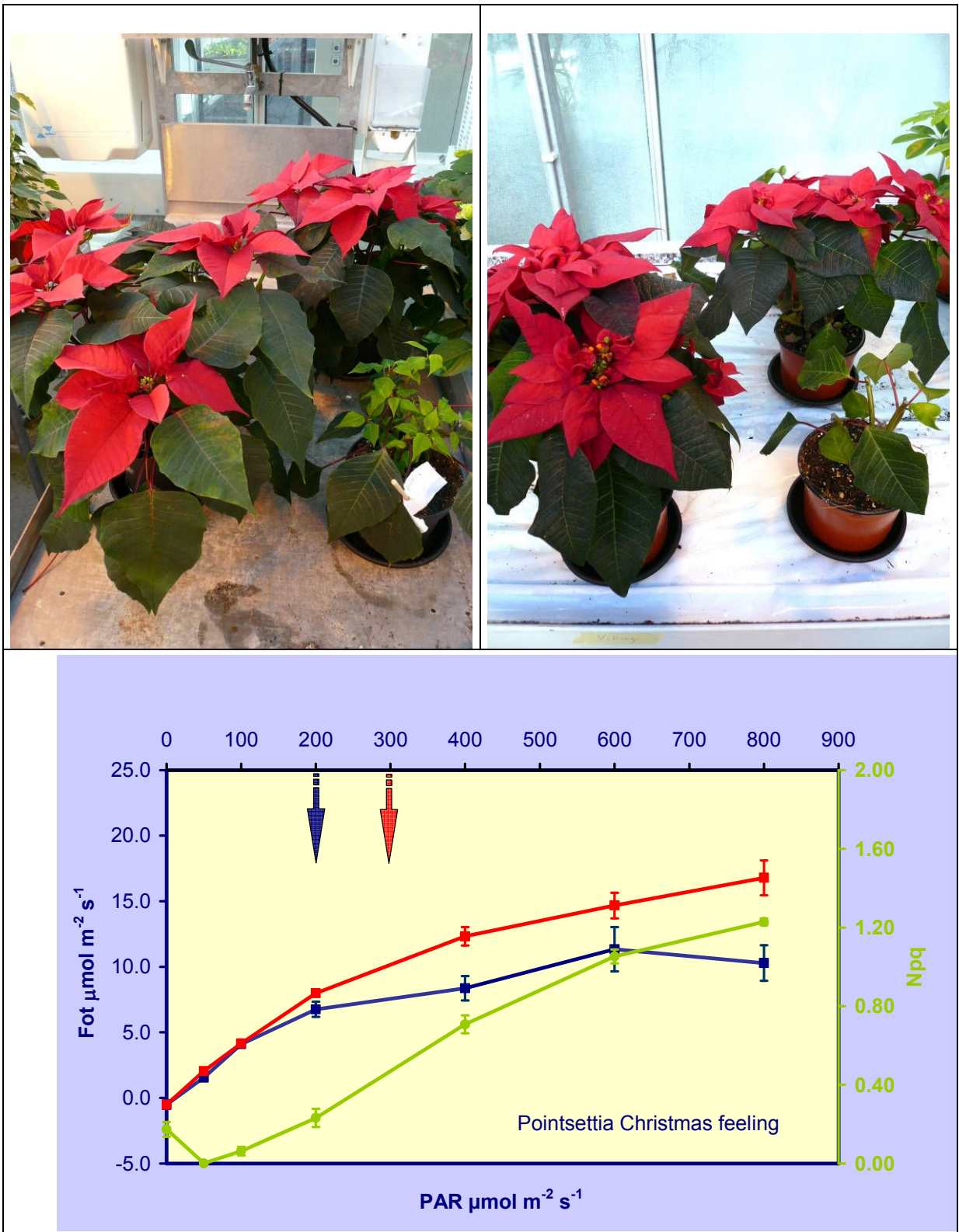


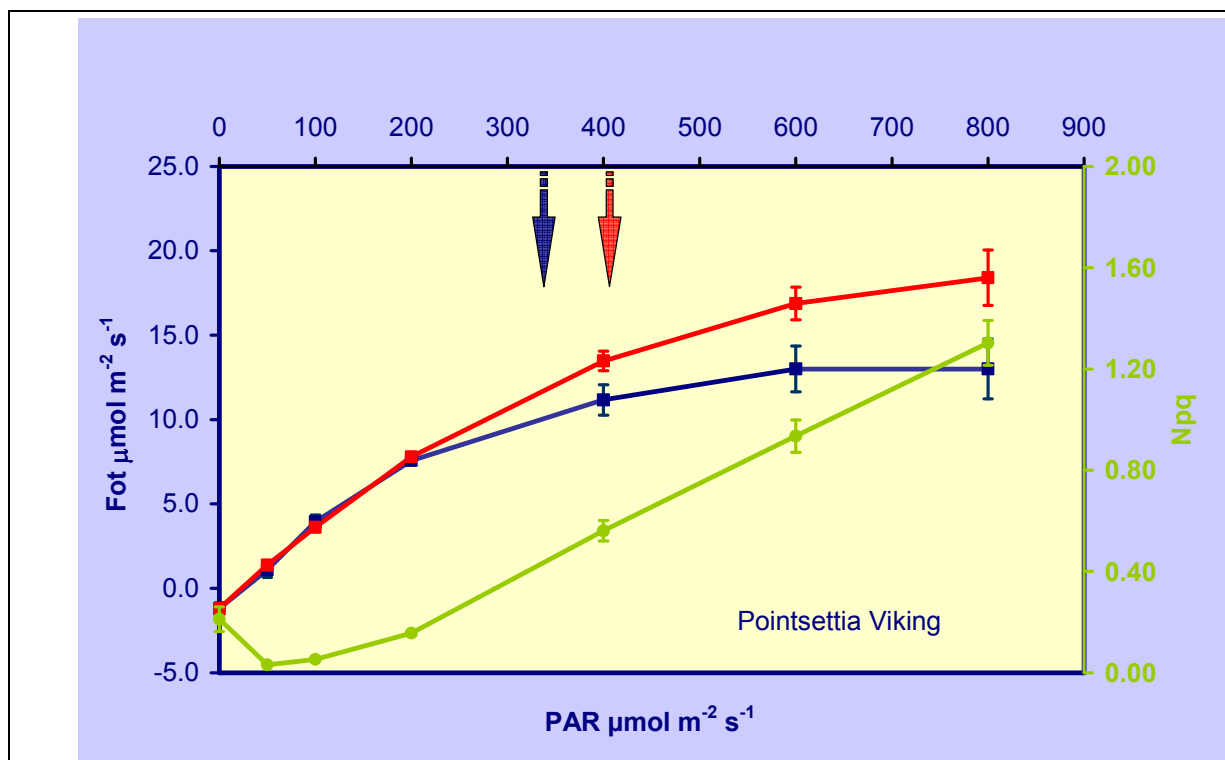
Tabel 19 Overzicht potchrysant





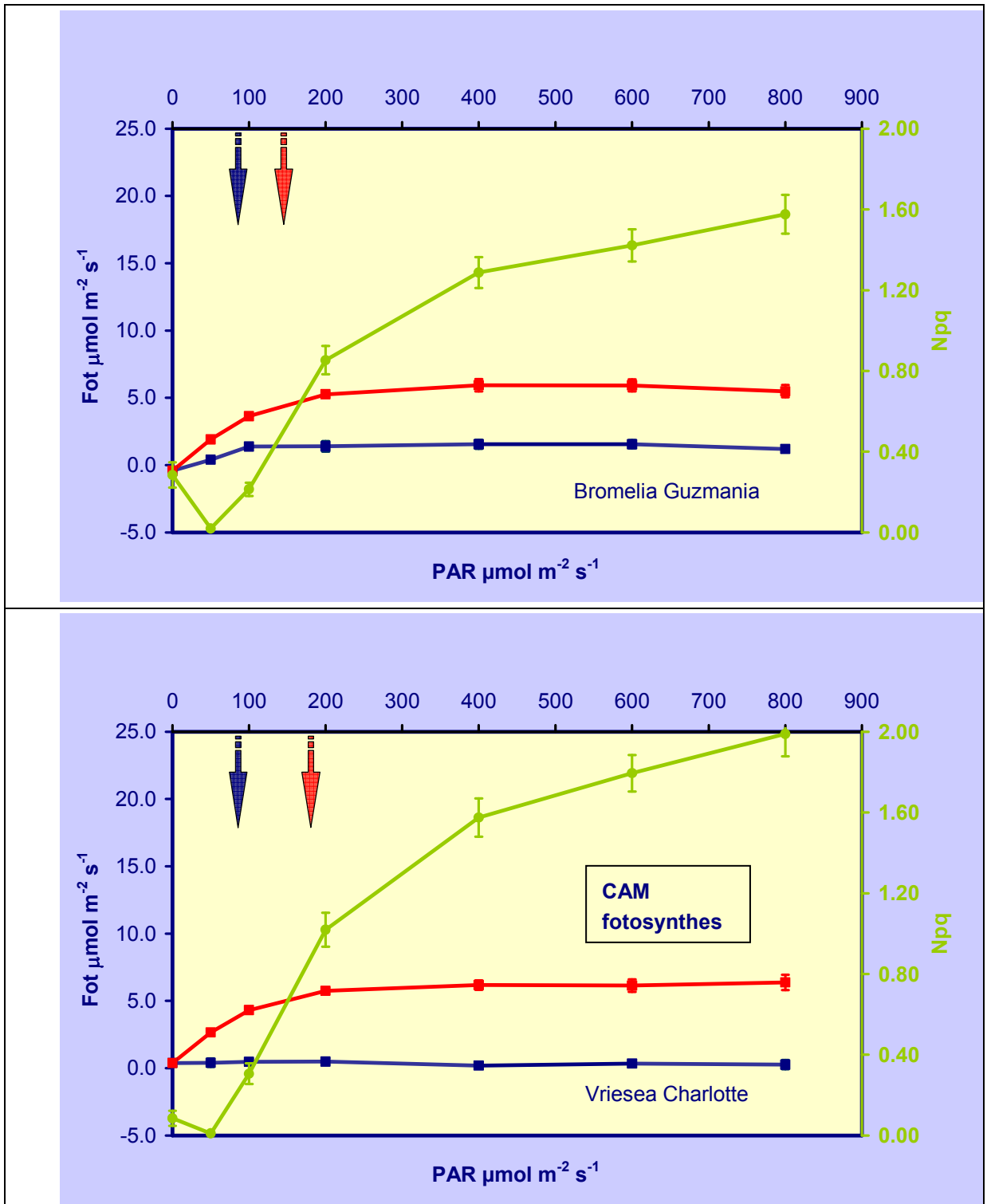
Tabel 20 Overzicht Pointsettia



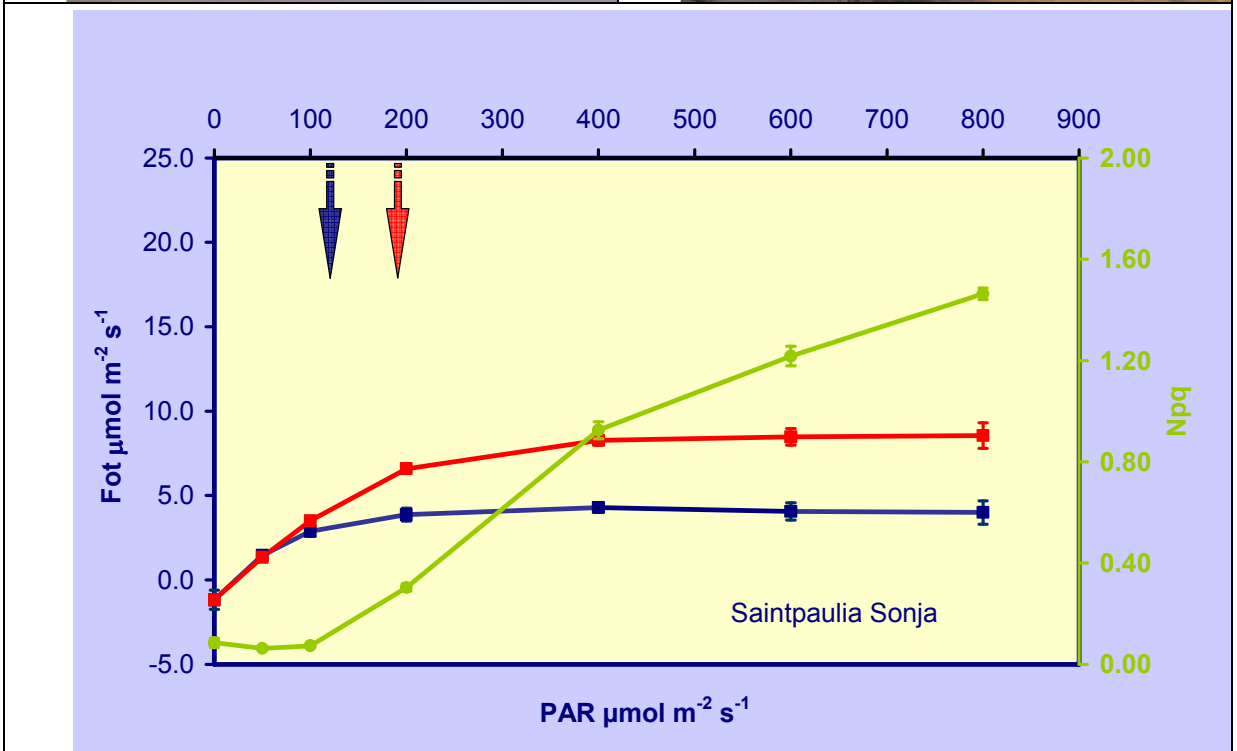


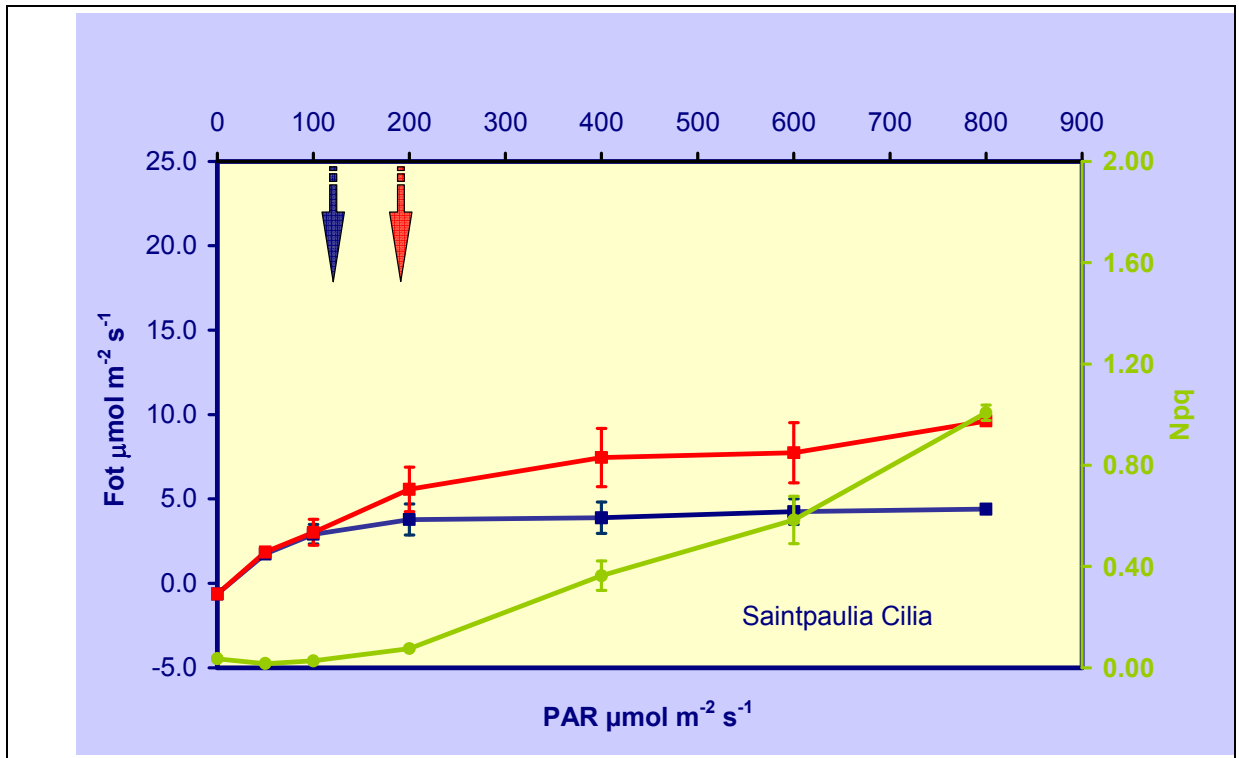
Tabel 21 Overzicht Bromelia





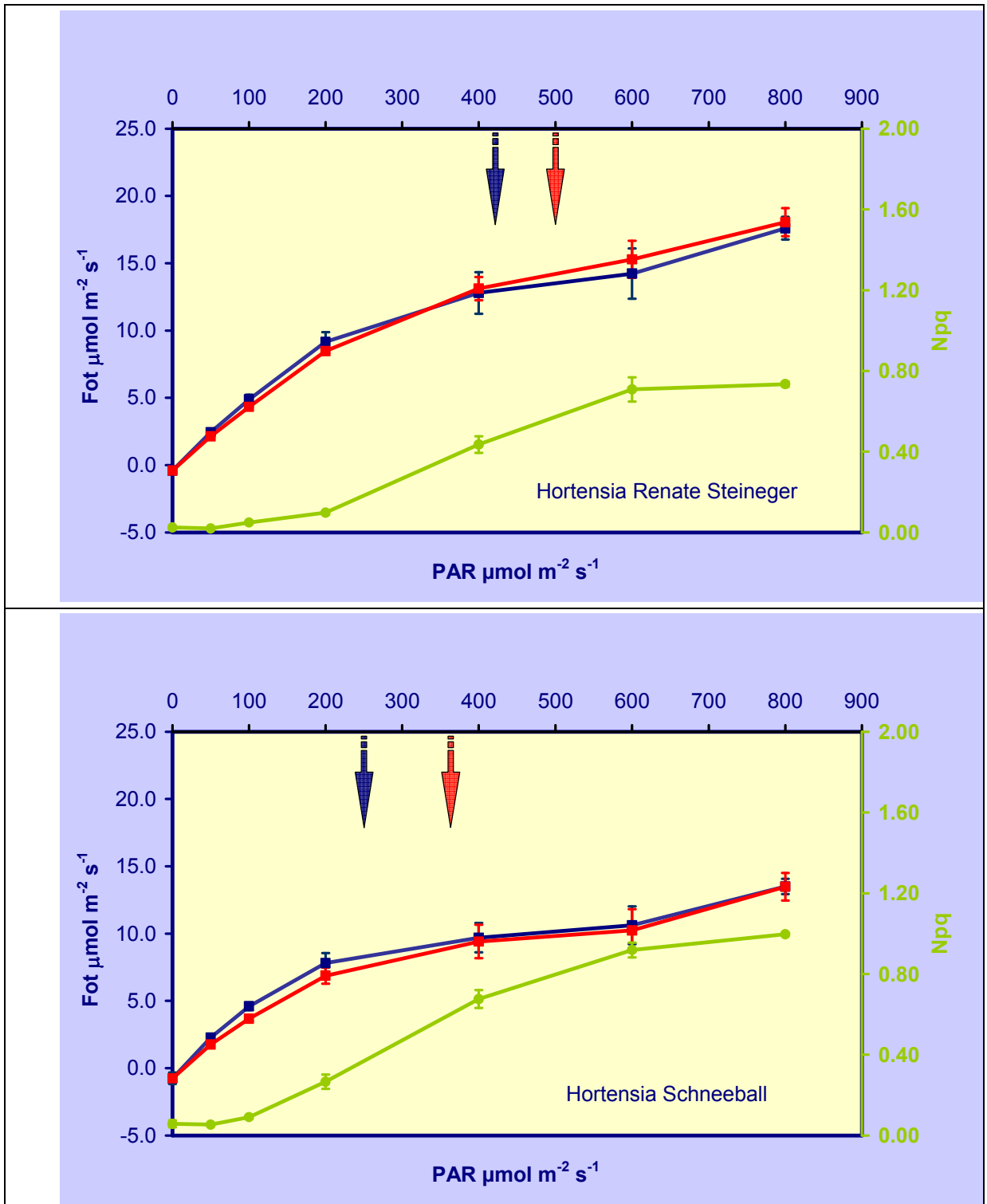
Tabel 22 Overzicht Saintpaulia





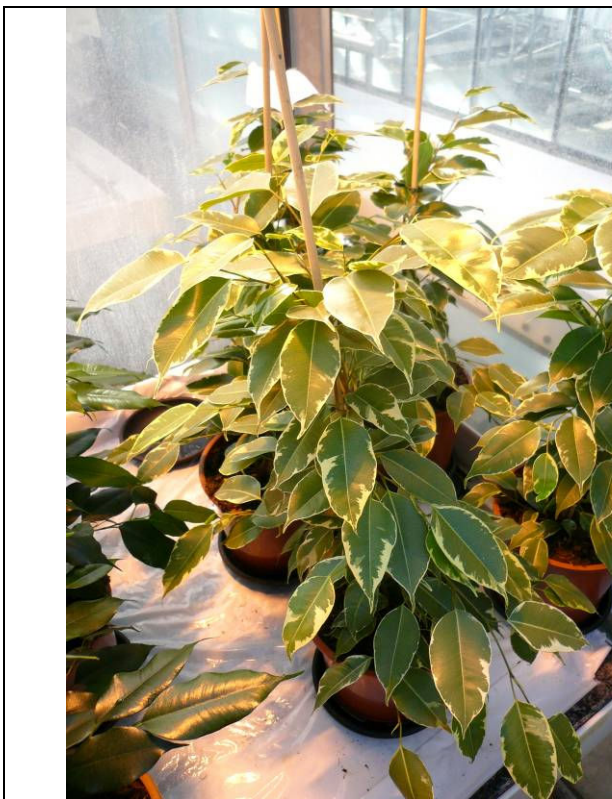
Tabel 23 Overzicht Hortensia

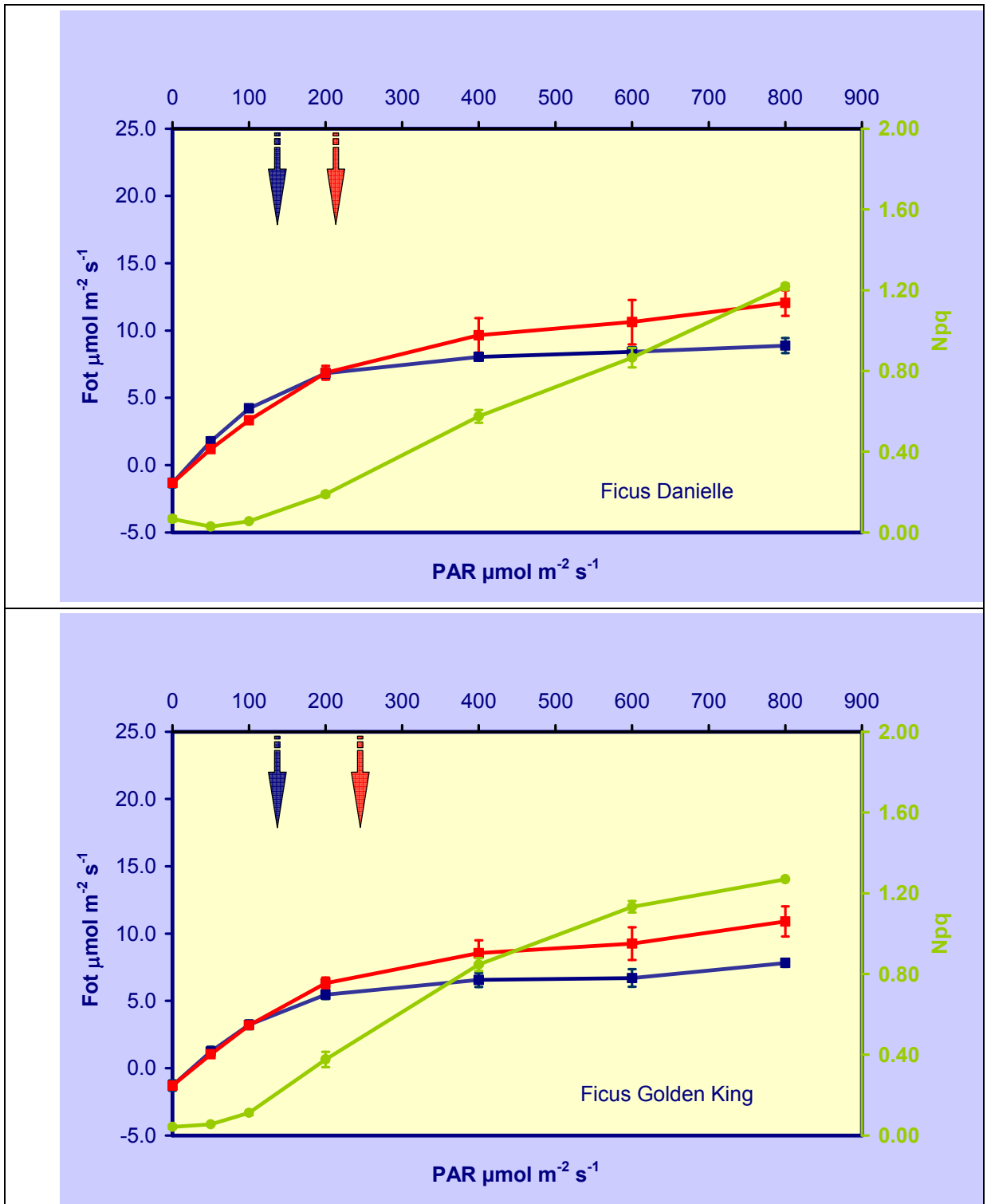




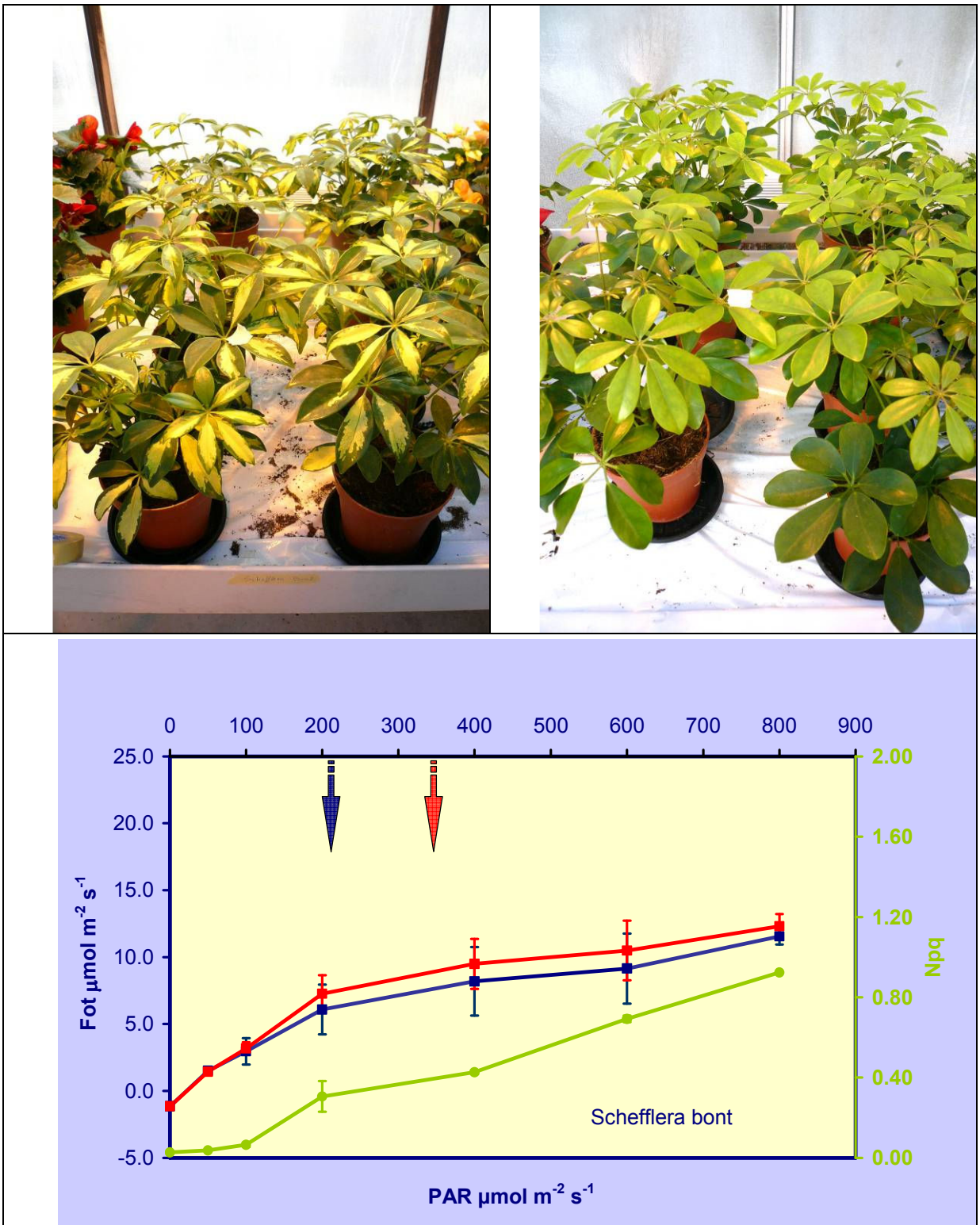


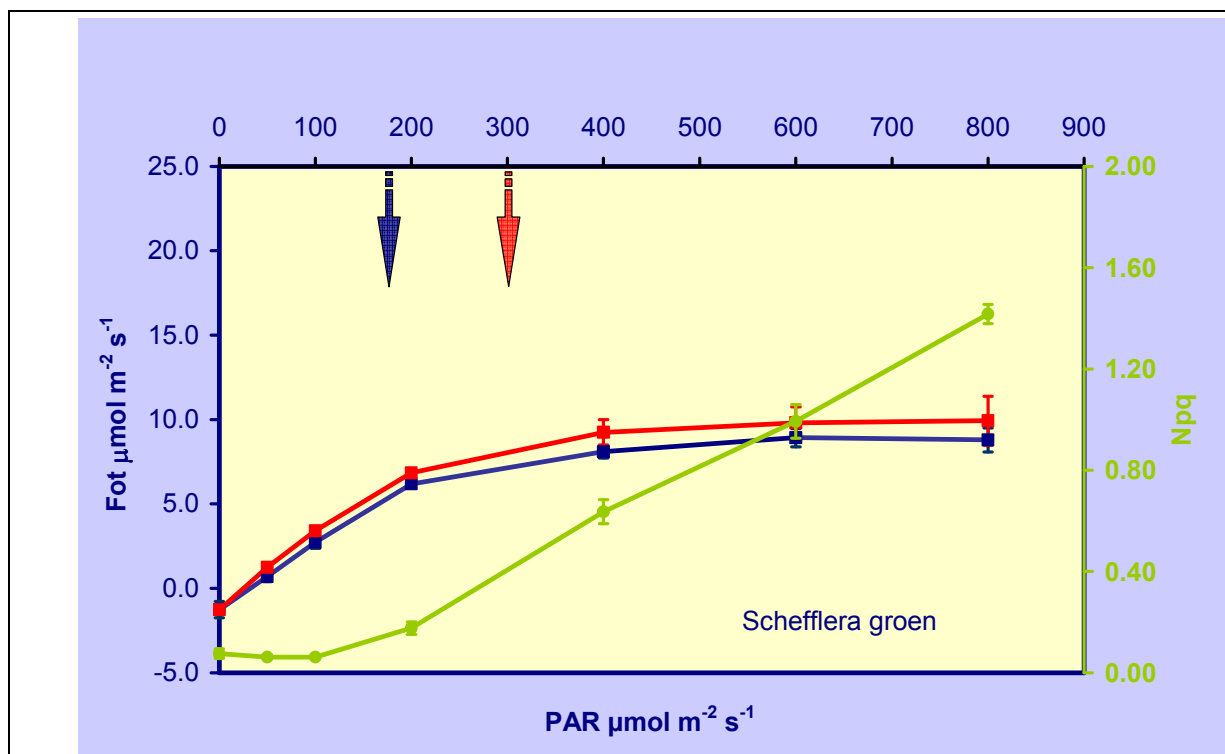
Tabel 24 Overzicht Ficus



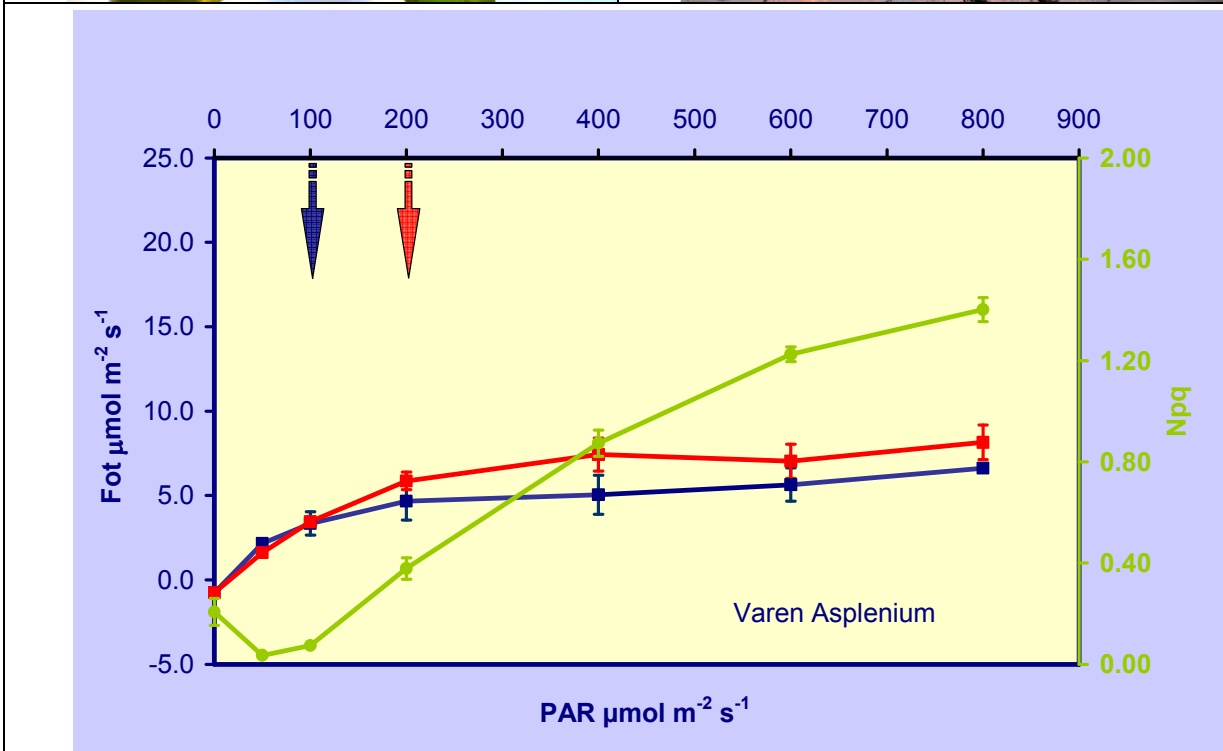


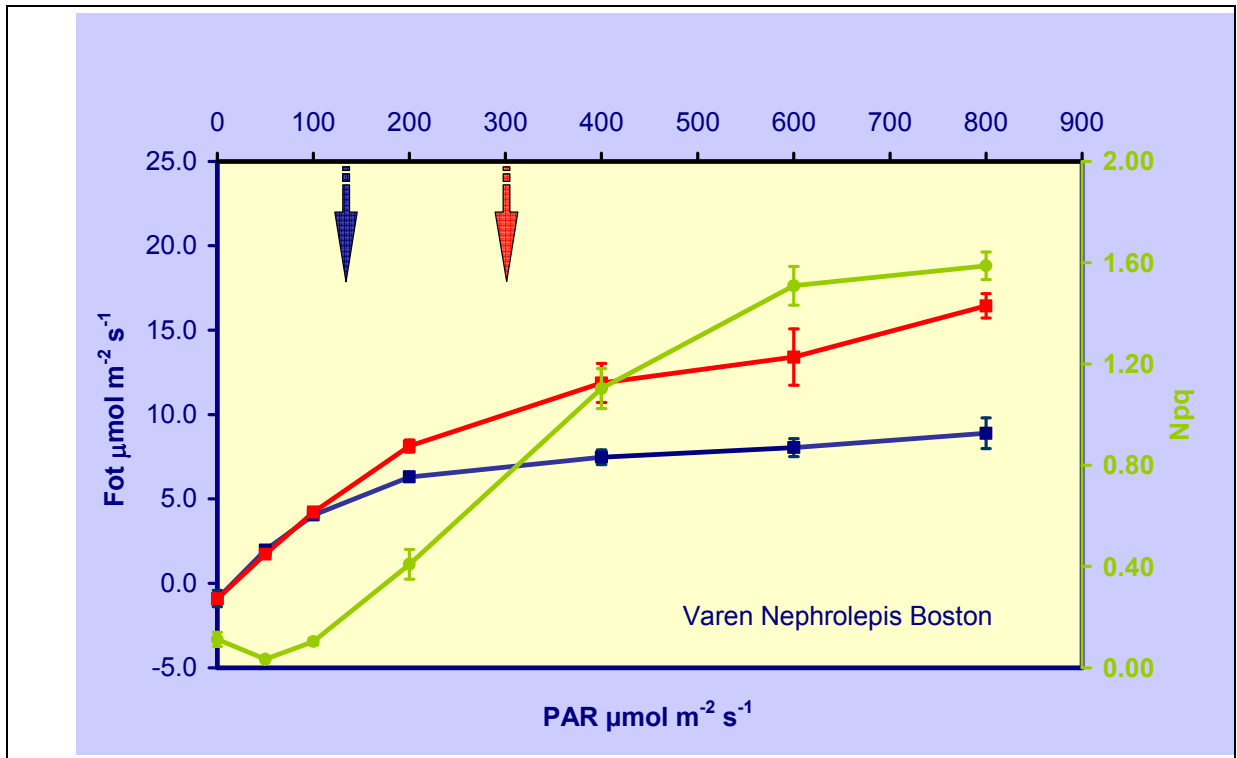
Tabel 25 Overzicht Schefflera





Tabel 26 Overzicht Varens

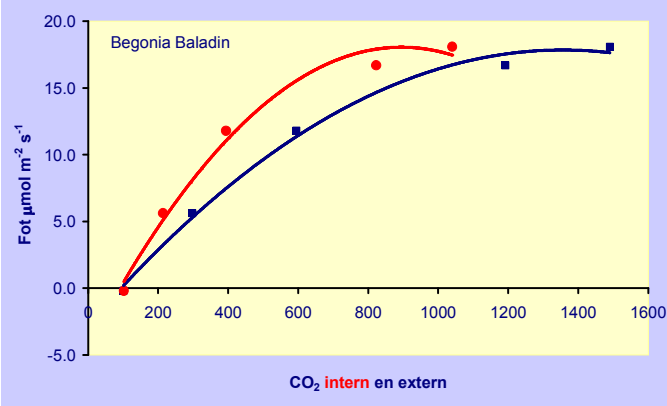
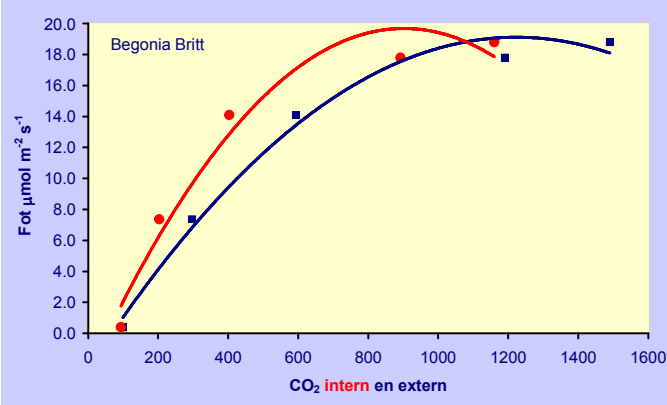
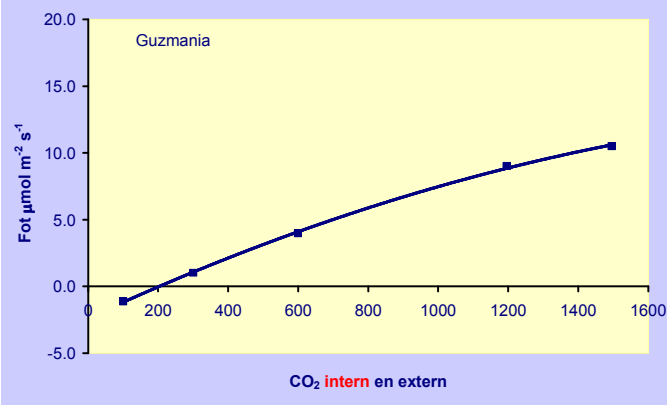


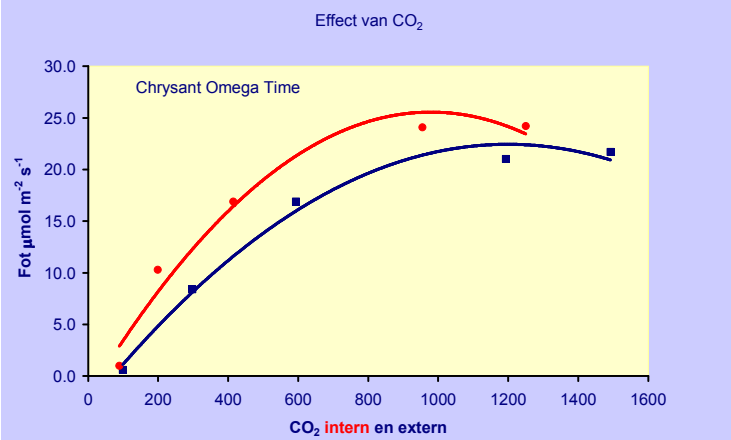
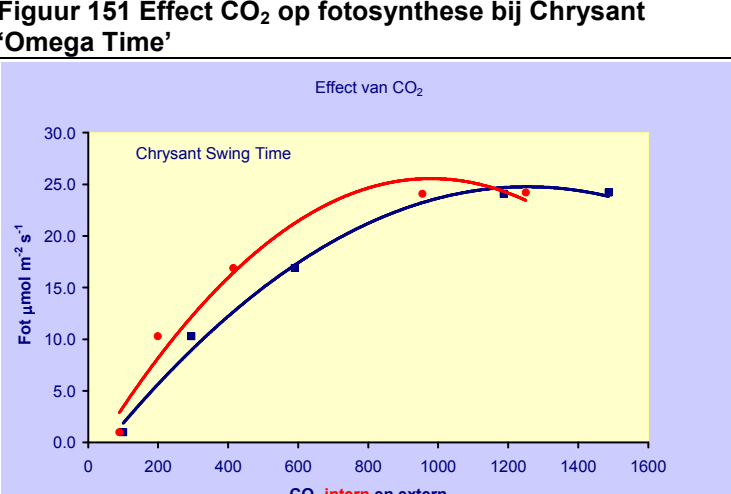
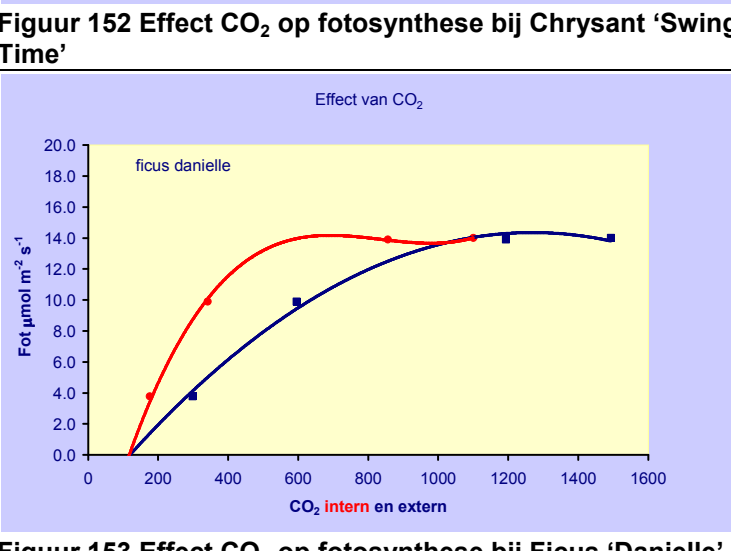


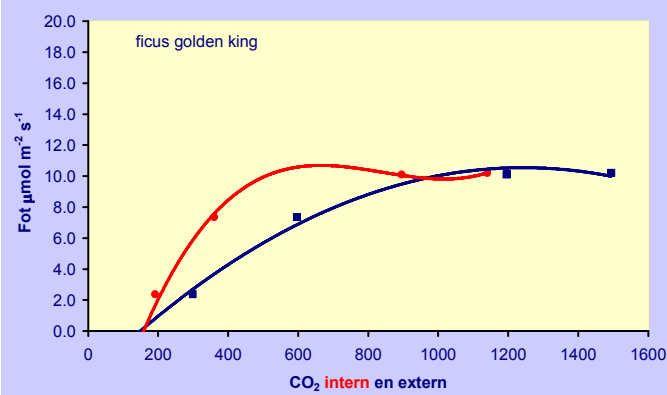
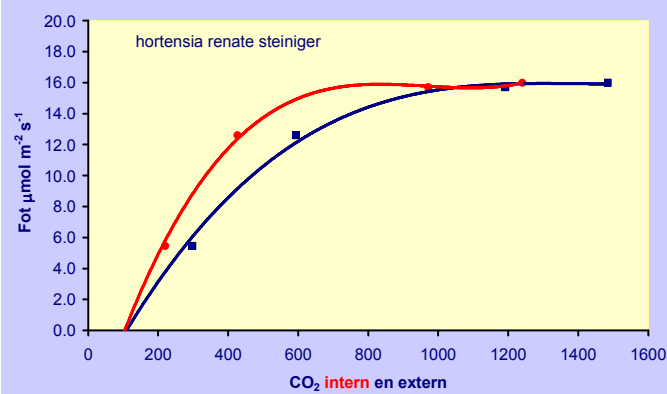
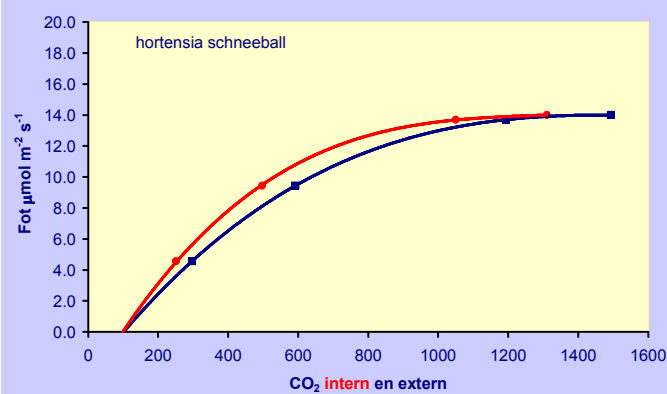
12.4 Fotosynthesemetingen: invloed CO_2

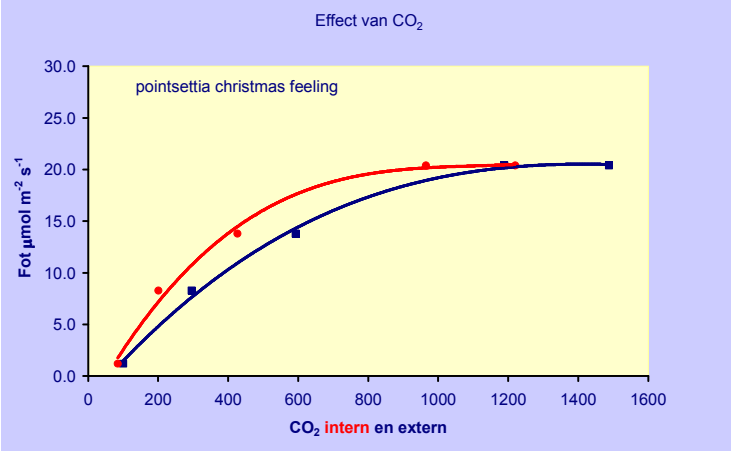
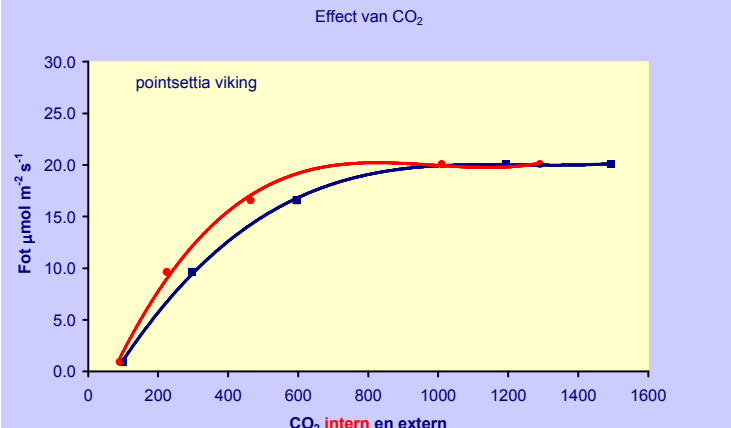
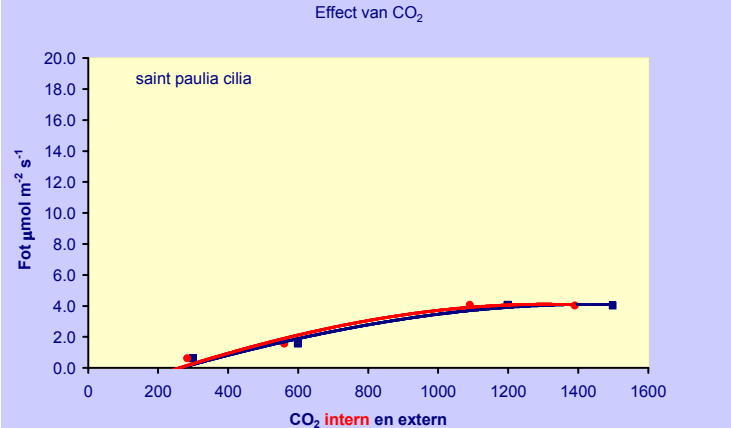
Door de CO_2 concentratie in het meetcuvet te variëren werd het effect van CO_2 op de fotosynthese snelheid bepaald. In het meetcuvet werd de concentratie stapsgewijs opgevoerd: 100 – 300 – 600 – 1200 – 1500 ppm CO_2 , bij 600 of 800 $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ PAR.

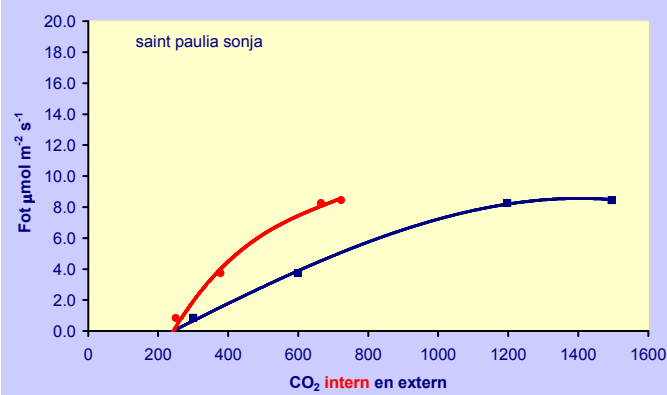
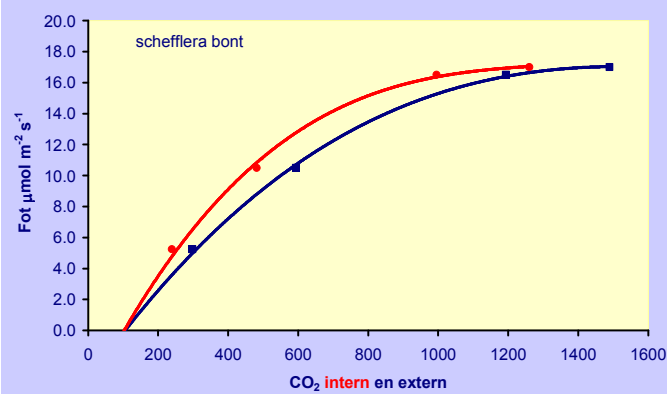
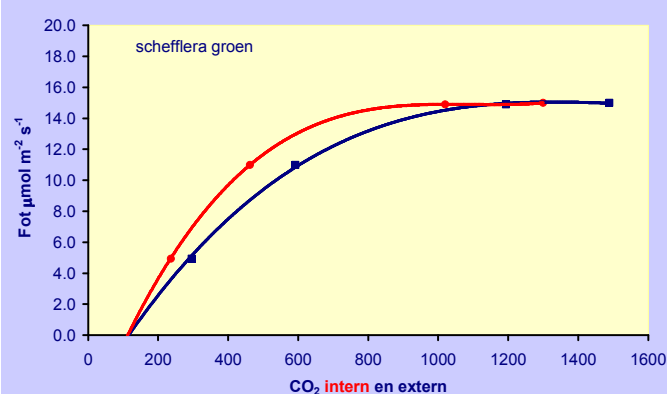
In de volgende figuren is de fotosynthese uitgezet tegen de gemeten CO_2 concentratie in de kaslucht (blauwe lijnen) en de berekende CO_2 concentratie in het blad (rode lijnen). Als de huidmondjesgeleidbaarheid erg laag is zal de interne CO_2 concentratie in het blad relatief laag zijn. Dat is ook de reden dat de fotosynthese laag is bij planten die een lage basisgeleidbaarheid hebben. Als de rode lijnen en de blauwe lijnen erg uit fase lopen betekent dat dat de fotosynthese en de geleidbaarheid op dat moment niet goed op elkaar zijn afgestemd.

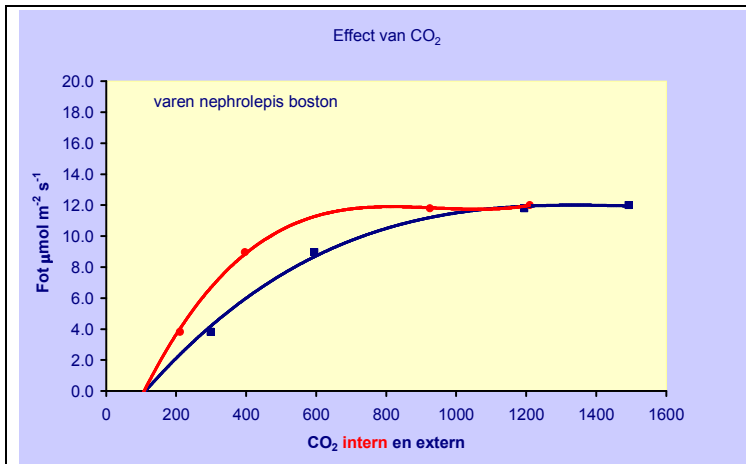
Effect van CO₂  Begonia Baladin CO₂ intern en extern Figuur 148 Effect CO₂ op fotosynthese bij Begonia 'Baladin'	Begonia 'Baladin' Sterke CO₂ respons (Figuur 148). Optimum voor korte termijn 800-1000 ppm. De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen vrijwel parallel wat wijst op een relatief hoge geleidbaarheid.
Effect van CO₂  Begonia Britt CO₂ intern en extern Figuur 149 Effect CO₂ op fotosynthese bij Begonia 'Britt'	Begonia 'Britt' Sterke CO₂ respons (Figuur 149). Optimum voor korte termijn 800-1000 ppm. De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen vrijwel parallel wat wijst op een relatief hoge geleidbaarheid.
Effect van CO₂  Guzmania CO₂ intern en extern Figuur 150 Effect CO₂ op fotosynthese bij Guzmania	Bromelia Guzmania. Onbetrouwbare metingen van interne CO₂ concentratie door lage huidmondjesgeleidbaarheid (Figuur 150). Vriesea (niet getoond) is een CAM plant en had daarom de huidmondjes in het licht gesloten.

	Sterke CO₂ respons (Figuur 151). Optimum voor korte termijn 800 ppm. De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen vrijwel parallel, wat wijst op een relatief hoge geleidbaarheid.
	Sterke CO₂ respons (Figuur 152). Optimum voor korte termijn 800 ppm. De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen vrijwel parallel wat wijst op een relatief hoge geleidbaarheid.
	Sterke CO₂ respons (Figuur 153). Optimum voor korte termijn is afhankelijk van lage termijn huidmondjesreactie (zie conclusies). De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen sterk uit fase wat wijst op een relatief lage geleidbaarheid.

Effect van CO₂  Figuur 154 Effect CO₂ op fotosynthese bij Ficus 'Golden King'	Sterke CO₂ respons (Figuur 154). Optimum voor korte termijn is afhankelijk van lage termijn huidmondjesreactie (zie conclusies). De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen sterk uit fase wat wijst op een relatief lage geleidbaarheid.
Effect van CO₂  Figuur 155 Effect CO₂ op fotosynthese bij Hortensia 'Renate Steiniger'	Sterke CO₂ respons (Figuur 155). Optimum voor korte termijn 700-800 ppm. De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen vrijwel parallel wat wijst op een relatief hoge geleidbaarheid.
Effect van CO₂  Figuur 156 Effect CO₂ op fotosynthese bij Hortensia 'Schneeball'	Sterke CO₂ respons (Figuur 156). Optimum voor korte termijn 700-800 ppm. De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen vrijwel parallel, wat wijst op een relatief hoge geleidbaarheid.

 Effect van CO₂ pointsettia christmas feeling Fot $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ CO₂ intern en extern	Sterke CO₂ respons (Figuur 157). Optimum voor korte termijn 600-800 ppm. De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen vrijwel parallel wat wijst op een relatief hoge geleidbaarheid.
 Effect van CO₂ pointsettia viking Fot $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ CO₂ intern en extern	Sterke CO₂ respons (Figuur 158). Optimum voor korte termijn 600-800 ppm. De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen vrijwel parallel wat wijst op een relatief hoge geleidbaarheid.
 Effect van CO₂ saint paulia cilia Fot $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ CO₂ intern en extern	Hoog CO₂ compensatiepunt (Figuur 159) Door de lage fotosynthese zijn geen duidelijke conclusies te trekken met betrekking tot de optimale CO₂ concentratie. Uit het feit dat de rode en blauwe lijnen samen vallen kan geconcludeerd worden dat de geleidbaarheid geen beperking is voor de fotosynthese van Saintpaulia, ras 'Cilia'. Het lijkt erop dat een concentratie van 800- 900 ppm voor deze soort optimaal is.

Effect van CO₂  saint paulia sonja	Hoog CO₂ compensatiepunt (Figuur 160) Het lijkt erop dat een concentratie van 900 ppm voor dit soort optimaal is.
Effect van CO₂  schefflera bont	Sterke CO₂ respons (Figuur 161). Optimum voor korte termijn 800-1000 ppm. De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen vrijwel parallel wat wijst op een relatief hoge geleidbaarheid.
Effect van CO₂  schefflera groen	Sterke CO₂ respons (Figuur 162). Optimum voor korte termijn 800-1000 ppm. De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen vrijwel parallel wat wijst op een relatief hoge geleidbaarheid.

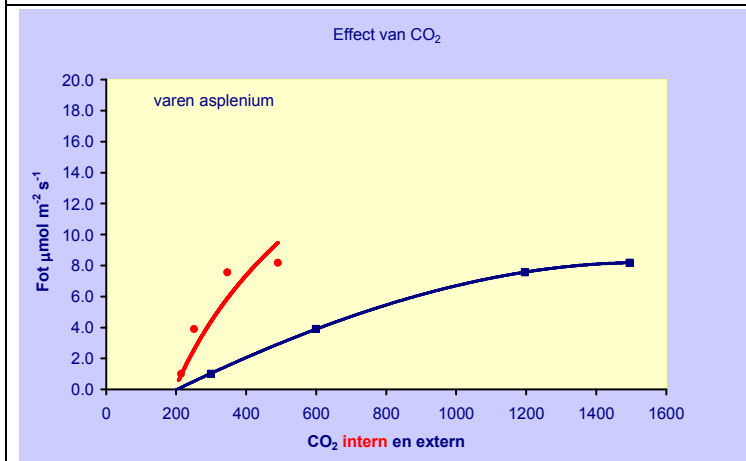


Figuur 163 Effect CO₂ op fotosynthese bij Nephrolepis Boston

Sterke CO₂ respons (Figuur 163).

Optimum voor korte termijn is afhankelijk van lage termijn huidmondjesreactie (zie conclusies).

De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen uit fase wat wijst op een relatief lage geleidbaarheid.



Figuur 164 Effect CO₂ op fotosynthese bij Asplenium Nidus

Sterke CO₂ respons (Figuur 164).

Optimum voor korte termijn is afhankelijk van lage termijn huidmondjesreactie (zie conclusies).

De rode lijn (interne CO₂ afhankelijkheid) en de blauwe lijn (externe CO₂ afhankelijkheid) lopen sterk uit fase wat wijst op een relatief lage geleidbaarheid.

13 Paspoort parameters fotosynthese en conclusies

Voor de onderzochte cultivars komen we op de volgende schattingen voor de sleutelparameters van de fotosynthese. J_{max25} is de maximale elektroncapaciteit bij 25°C. Deze waarde geeft aan hoeveel energie de plant kan opslaan om vervolgens CO_2 in suikers om te zetten. V_{cmax} is de maximale snelheid waarmee CO_2 kan worden gebonden als de huidmondjes open staan. A_1 is een relatieve maat voor de huidmondjesgeleidbaarheid bij een lage VPD. D_0 is de afhankelijkheid van de huidmondjesgeleidbaarheid bij toename van VPD_{blad} . $D_0 > 2$, betekent relatief ongevoelig. $D_0 < 1$ betekent relatief gevoelig (Tabel 27).

Tabel 27 Overzicht plantivity bij diverse rassen

soort	ras	J_{max25}	V_{cmax25}	a_1	D_0
begonia	baladin	104	40	5	1,5
begonia	britt	161	46	5	1,5
bromelia	guzmania_jazz	42			
bromelia	vriesea	37			
chrysant	omega_time	143	60	5	2
chrysant	swing_time	156	60	5	2
cyclaam	mini_winter	131	56	9	0,8
cyclaam	xl	136	55	9	0,8
figus	danielle	82	33	4	3
figus	golden_king	72	21	4	3
hortensia	renate steiniger	120	36	7	2
hortensia	schneeball	84	26	7	2
pointsettia	christmas feeling	128	45	6	1,5
pointsettia	viking	114	51	6	0,4
saintpaulia	cilia	55	24	6	2
saintpaulia	sonja	64	18	6	2
schefflera	bont	80	34	8	3
schefflera	groen	71	30	8	3
varen	asplenium nidus	53	20	4	8
varen	nephrolepis boston	76	27	8	8

- Er is een grote variatie in fotosynthese karakteristieken tussen verschillende soorten potplanten.
- Uit het onderzoek blijkt dat betrekkelijk snel inzicht kan worden verkregen in de variatie voor de groeicapaciteit.
- De analyse van de meetdata maakt het mogelijk om de optimale lichtintensiteit voor een bepaald gewas en cultivar te bepalen.
- Gecombineerde fotosynthese en fluorescentiemetingen maken het mogelijk om grenswaarden te bepalen van de maximaal toelaatbare hoeveelheid licht.

- De capaciteit van het electronentransport (J_{max}) varieert tussen $42 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ voor Bromelia tot $160 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ voor potchrysant en Begonia.
- De variatie voor de CO_2 bindingscapaciteit (V_{cmax}) is gecorreleerd met die voor J_{max} .
- Dat betekent dat gewassen/rassen die veel energie kunnen opslaan ook veel CO_2 bindingscapaciteit hebben.
- Saintpaullia is de hekkensluiter voor V_{cmax} met een maximale binding van $18 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en Chrysant is veruit de meest efficiënte CO_2 binder.
- Naast elektronentransport en CO_2 binding is de huidmondjesgeleidbaarheid (g_s) de belangrijkste factor voor de productie. In dit onderzoek is een eerste schatting gemaakt voor de diverse gewassen. Het is opvallend dat de afhankelijkheid van de g_s voor kortlopende veranderingen in VPD_{blad} kleiner is dan we in eerste instantie verwachtten op basis van eerdere metingen aan tomaat en roos.
- Het effect van de CO_2 concentratie op de fotosynthese is voor alle gewassen en cultivars redelijk hoog. Hoewel er vrij grote verschillen waren tussen de cultivars lijkt een concentratie van 800 ppm een goede keus. Voor gewassen met een zeer lage geleidbaarheid zal de optimum concentratie hoger liggen. Door de lagere geleidbaarheid wordt immers de interne CO_2 concentratie meer beperkt dan bij gewassen met een hoge g_s . Dit moet per gewas nader worden uitgezocht omdat sommige gewassen negatief reageren op langdurige blootstelling aan hoge CO_2 concentraties. De huidmondjes sluiten zich onder die condities waardoor er een negatieve spiraal wordt geïnduceerd.
- Het onderzoek geeft bruikbare aanknopingspunten voor de optimalisering van de belichting (zowel schermen als assimilatiebelichting).

14 Economische evaluatie

14.1 Inleiding

Wanneer een investering gedaan wordt op een bedrijf is het noodzakelijk om in te kunnen schatten of deze investering op termijn rendabel is. In dit onderzoek zijn een aantal gewasreacties van de plant en het klimaat gemonitord met diverse sensoren gekoppeld aan de GrowWatch. Het doel van het monitoren van de plant is om meer inzicht te krijgen in de gedragingen en reactie van de plant op diverse omstandigheden. Door meer kennis over hoe de plant reageert op de verschillende omstandigheden kan de groei verbeterd worden. Daarnaast kan er efficiënter omgegaan worden met input van bijvoorbeeld energie. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de opbrengsten/kosten verhouding van de GrowWatch. De kosten zijn redelijk goed in te schatten en worden uitgedrukt ten opzichte van de omzet. Aangezien het niet mogelijk is om de opbrengsten van de GrowWatch in geld uit te drukken, zal de nadruk liggen op de omschrijving van de voor- en nadelen. Op deze manier kan het break-evenpoint berekend worden waarbij de investering rendabel is en kan een betere afweging gemaakt worden om al dan niet hierin te investeren.

14.2 Resultaten GrowWatch

Het resultaat dat de GrowWatch oplevert is erg moeilijk te berekenen. Daarom is er gekozen voor een opsomming van de mogelijke voor- en nadelen die met de GrowWatch behaald kunnen worden.

Voordelen

- Door het op de juiste wijze inzetten van de input, zoals energie, licht en CO₂, kunnen deze efficiënter ingezet worden, waardoor een kostenbesparing wordt verkregen.
- Opsporen van groeibeperkende factoren. Doordat naast de berekende groei ook de maximale groei (huidmondjes open en geen beperking van de hoeveelheid CO₂) berekend wordt.
- Het kiezen van het juiste stralingsniveau (zonlicht) waarbij geschermd moet worden waardoor niet teveel licht wordt afgeschermd of teveel straling wordt toegelaten. Beide zaken gaan ten kosten van de groei.
- Het ontdekken van de gevolgen van diverse klimaatinstellingen op de uiteindelijke groei van de plant.
- Door o.a. de bladtemperatuurmeter is het mogelijk de VPD te bepalen, waardoor nog beter op de verdamping ingespeeld kan worden.
- Het bepalen van het effect van input als energie, licht en CO₂ op de assimilatie van het gewas. Hierdoor kan het juiste optimum gekozen worden dat de meeste groei oplevert.
- Afstemmen belichting, moment van uitschakelen van de assimilatie belichting.
- Effecten gewasbescherming op groei. Vooraf screenen van gewasbeschermingsmiddelen.

- Vaststellen van aantal graaddagen van bepaalde teelten waardoor er beter gepland kan worden.
- Vaststellen van de bovengrens van de VPD.
- Optimaliseren van etmaal temperatuur om te voorkomen dat bij overschot van assimilaten de plant de fotosynthese terug reguleert naar een lager niveau.
- Voorkomen van plantuitval door niet te lang te telen bij te lage VPD waarden.
- Op het juiste moment inzetten van bv luchtbevochtiging, daksproeiers en mechanische koeling.
- Op afstand kunnen monitoren en vanaf iedere PC met internetverbinding benaderbaar. Teeltadviseurs kunnen eenvoudig meekijken.
- On-line kunnen vergelijken met collega telers.
- Nieuwe correlaties (eigen rekenregels) kunnen op wens van gebruiker eenvoudig worden toegevoegd.

Nadelen

- De fluorescentiemeting is een puntsmeting op 1 blad in de gehele kas. Dit wordt gedeeltelijk ondervangen door wekelijks een andere meetplant te nemen.
- Hierdoor bestaat de kans dat deze puntsmeting niet representatief is voor de rest van de afdeling. Het kan dan nodig zijn meerdere GrowWatches aan te schaffen om een nog betrouwbaardere meting te krijgen. Dit werkt wel weer kostenverhogend.
- Bepaalde eigenschappen van het gewas moeten eerst met een LiCor-6400 in beeld worden gebracht om de softsensoren de juiste berekeningen te laten maken. Wanneer deze gegevens niet van het gewas bekend zijn moet die vooraf uitgevoerd worden.
- Voor bedrijven met verschillende teelten wordt het daardoor moeilijker om het apparaat in meerdere gewassen in te zetten. Er zijn ondertussen gegevens van een twintigtal potplanten bekend. Dit is alleen van toepassing als de werkelijk assimilatie uitgerekend moet worden. Toerental en effect van stuurfactoren op de assimilatie kan ook zonder specifiek groeimodel bepaald worden.

14.3 Kosten GrowWatch

De GrowWatch bestaat uit een ruimtetemperatuurmeting, RV meting, dubbel PAR licht meting, infrarood meting (bladtemperatuur), CO₂, WET-sensor (vochtgehalte, temperatuur en EC substraat) en chlorofyl-fluorescentiemeting. Het systeem is nog uit te breiden met o.a. bladdikte en stengeldikte sensoren en een weegschaal (CropScale). Daarnaast zijn er nog enkele softsensoren die o.a. de assimilatie berekenen en stressfactor (NPQ), vochtdeficiet en VPD weergeven. De aanschaf kosten voor het gehele apparaat zonder de eerder genoemde uitbreidingen zijn € 23.500,-

Daarnaast zijn er nog enkele jaarlijks terugkerende kosten.

- Kosten voor software en opslag data: € 1.600,- per jaar.
- Kosten voor GPRS data verkeer: € 350,- per jaar.
- Calibratie: € 600,- per keer.
- Totaal komt dit op € 2.550,- per jaar.

Wanneer de GrowWatch in 5 jaar wordt afgeschreven zijn de afschrijvingskosten:

- € 23.500,-/5 = € 4.700,- per jaar.

Bij een rente percentage van 6% zijn de rentekosten:

- € 23.500,- / 100 x 6 = € 1.410,-

De totale jaarkosten van de GrowWatch bedragen dan

- € 4.700,- + € 1.410,- + € 2.550,- = € 8.660,-

Anthurium

Productie

Er wordt in de berekening uitgegaan van een 17 cm pot. Bij een jaarrondteelt op een oppervlakte van 10.000 m² is er 520.000 week m² beschikbaar. Het teeltschema per 1000 planten is als volgt:

Fase 1: 34 planten/ m² a 11 weken = 374 week m²

Fase 2: 21 planten/ m² a 11 weken = 231 week m²

Fase 3: 11 planten/ m² a 22 weken = 242 week m²

Totaal: 2847 week m²

Het totaal aantal planten dat in dit geval wordt geproduceerd is $520.000/2847 * 1000 = 182.584$ planten.

Kosten

Wanneer de kosten van de GrowWatch worden afgezet tegen het aantal te produceren planten dan zijn de kosten van de GrowWatch uitgedrukt in kosten per plant $866000 \text{ cent} / 182.584 \text{ planten} = 4,74 \text{ cent per plant}$. Wanneer er geen effect is van de GrowWatch zal de kostprijs per plant dus stijgen.

Kalanchoe

Productie

Er wordt in de berekening uitgegaan van een 10,5 cm pot. Bij een jaarrondteelt op een oppervlakte van 10.000 m² is er 520.000 week m² beschikbaar. Het teeltschema per 1000 planten is als volgt:

Fase 1: 90 planten/ m² a 6 weken = 540 week m²

Fase 2: 48 planten/ m² a 8 weken = 384 week m²

Totaal: 924 week m²

Het totaal aantal planten dat in dit geval wordt geproduceerd is $520.000/924 * 1000 = 562.770$ planten.

Kosten

Wanneer de kosten van de GrowWatch worden afgezet tegen het aantal te produceren planten dan zijn de kosten van de GrowWatch uitgedrukt in kosten per plant $866000 \text{ cent} /$

2.222.222 planten = 0,39 cent per plant. Wanneer er geen effect is van de GrowWatch zal de kostprijs per plant dus stijgen.

Spathiphyllum

Productie

Er wordt in de berekening uitgegaan van een 17 cm pot. Bij een jaarrondteelt op een oppervlakte van 10.000 m² is er 520.000 week m² beschikbaar. Het teeltschema per 1000 planten is als volgt:

Fase 1: 33 planten/ m² a 12 weken = 363 week m²

Fase 2: 16 planten/ m² a 12 weken = 750 week m²

Fase 3: 11 planten/ m² a 6 weken = 545 week m²

Totaal: 1658 week m²

Het totaal aantal planten dat in dit geval wordt geproduceerd is $520.000 / 1658 \cdot 1000 = 313.631$ planten.

Kosten

Wanneer de kosten van de GrowWatch worden afgezet tegen het aantal te produceren planten dan zijn de kosten van de GrowWatch uitgedrukt in kosten per plant $866.000 \text{ cent} / 313.631 \text{ planten} = 2,76 \text{ cent per plant}$. Wanneer er geen effect is van de GrowWatch zal de kostprijs per plant dus stijgen.

15 Conclusies en aanbeveling

Het ontwikkelde GrowSense model kan voor meerdere doeleinden ingezet worden in de bedrijfsvoering:

- Als waarschuwingssysteem dat aangeeft dat de lichtbenutting van het gewas langdurig veel lager blijft dan verwacht mag worden op basis van de gemeten kasklimaat condities. Dit kan het gevolg zijn van een verkeerde EC in de voeding, een ziekte of essentiële fouten in de klimaatcontrole.
- Als optimaliseringinstrument wat de mogelijkheid biedt om het kasklimaat binnen een etmaal aan te passen, de productiviteit te verhogen en energie te besparen.
- Als toepassing bij een leerproces. Met de data kunnen vergelijkingen worden gemaakt tussen klimaatcondities maar ook tussen cultivars.

Uit de metingen, met de LiCor-6400, naar directe effecten van veranderingen in o.a. temperatuur, CO₂ en licht op de fotosynthese aan de pilotgewassen potanthurium, Kalanchoë en Spathiphyllum is het volgende gebleken.

Anthurium

- Bij Anthurium zijn aan verschillende cultivars fotosynthesemetingen verricht in relatie tot licht. De variatie in fotosynthese tussen de cultivars kan opgesplitst worden in twee groepen: cultivars met een hoge fotosynthese en cultivars met een lage of sterk teruggeregelde fotosynthese.
- Er bleek een verschil tussen de ochtend en de middag wat betreft de reactie van de fotosynthese op licht. In de middag is er een lage fotosynthese. Dit wordt een middagdepressie genoemd. Het lichtverzadigingsniveau is in de ochtend aanmerkelijk hoger dan in de middag. In de middag zijn de fotosynthese-receptoren bij 200 $\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$ PAR volledig verzadigd. De afname van de fotosynthese in de middag wordt vrijwel geheel bepaald door de sluiting van de huidmondjes.
- Anthurium reageert sterk op een verhoging van CO₂. Door hoge CO₂ concentratie sluiten de huidmondjes meer.

Spathiphyllum

- De fotosynthesemetingen van Spathiphyllum laten een lagere fotosynthese capaciteit zien dan bij Anthurium.
- Het effect van CO₂ is zeer duidelijk en er is geen verschil in de CO₂ respons bij de twee getoetste rassen 'Chopin' en 'Tango'.
- Spathiphyllum heeft een relatief hoge huidmondjes geleidbaarheid maar is gevoeliger voor een hoog dampdruk deficit.
- Spathiphyllum assimileert bij lage lichtintensiteiten efficiënter dan Anthurium.

Kalanchoë

- Bij lage lichtintensiteiten is de fotosynthese van C3 bladeren ongeveer gelijk aan bladeren van Spathiphyllum. Er is echter een groot verschil in de relatie tot hogere lichtintensiteiten. De fotosynthese van gezonde volgroeide bladeren is zelfs bij 800

$\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PAR nog niet verzadigd. Wel treedt er bij die lichtintensiteiten stress op. De CO_2 concentratie was 600 ppm.

- Kalanchoë is het minst efficiënt met licht van de 3 getoetste gewassen. Het verzadigingsniveau van de fotosynthese is echter duidelijk het hoogst.
- Een CO_2 gehalte van 1000 ppm geeft bij Kalanchoë nog geen verzadiging. Dit biedt perspectieven voor hogere streefwaarden van de CO_2 concentratie. Het is in dat geval natuurlijk wel belangrijk te weten of er sprake is van CAM. In dat geval heeft CO_2 doseren in het licht geen zin.
- Binnen een half uur reageert Kalanchoë niet op een sterke verlaging van VPD. De fotosynthese blijft hoog bij een lichtintensiteit van $800 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PAR en een CO_2 concentratie van 600 ppm. De temperatuur liep in een half uur op tot 30°C en de RV daalde naar 30%. Het is belangrijk om na te gaan hoe de aanpassing van Kalanchoë verloopt aan hogere VPD waarden gemeten over langere termijn.

Tijdens de praktijkmonitoring gaven de deelnemende telers, die direct middels het softwarepakket GrowWatch de gegevens on-line konden bekijken, aan dat er zeker toekomst in zit, maar dat het wel opnieuw leren en pionieren is. Het GrowSense model is goed bruikbaar om relatieve veranderingen waar te nemen. Het zijn nu vooral de extremen in het klimaat en plantreacties waar naar gekeken wordt. Met name de geavanceerde assimilatie en NPQ (Non Photochemical Quenching ofwel lichtbelasting of plantenstress) zijn de meest interessante output gegevens. Dat de feedback van de plant terug te zien is op de computer, vinden ze zeker een welkome aanvulling. In de toekomst is het de bedoeling dat het klimaat mede op plantreacties gestuurd gaat worden.

Als uitbreiding van het project is voor 10 gewassen, de specifieke gewasparameters bepaald binnen het GrowSense model. Dit zijn voor: Cyklaam, potchrysan, Poinsettia, Bromelia, Saintpaulia, Begonia, Hortensia, Ficus, Schefflera en Varens. Hierbij is gekeken naar de licht respons, CO_2 respons en huidmondjesreactie. Hierbij een aantal resultaten. Het onderzoek aan Cyklaam is uitgevoerd met 2 cultivars, een mini (winter) en grootbloemige XL. De fotosynthese capaciteit, bepaald door de energievastlegging en de snelheid van CO_2 binding, is bij Cyklaam relatief hoog. Boven de $400\text{--}450 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PAR licht op gewasniveau kan echter stress ontstaan. De mini's zijn gevoeliger hiervoor dan de XL. De CO_2 respons voor veel gewassen is hoog. Ook Cyklaam reageert goed op CO_2 (800 ppm). De huidmondjesgeleidbaarheid bij Cyklaam is relatief hoog. Dit betekent dat er makkelijk CO_2 uitgewisseld wordt. De huidmondjesgeleidbaarheid van Cyklaam is wel duidelijk gevoeliger voor een toename van de VPD_{blad} dan bv potchrysan. De VPD (Vapor Pressure Deficit = waterdampdrukverschil) van het blad is het verschil tussen de waterdampdruk in het blad (gerelateerd aan de bladtemperatuur) en de waterdampdruk van de omringende lucht. De VPD_{blad} is de drijvende kracht voor de verdamping. Deze gevoeligheid houdt in dat bij een toename van de VPD_{blad} , bv door een lagere RV, de huidmondjesgeleidbaarheid afneemt. De huidmondjes gaan dan meer sluiten. Door meer sluiting van de huidmondjes kan de opname van CO_2 geremd worden. Afhankelijk van het lichtniveau kan hierdoor ook de fotosynthese geremd worden.

Het onderzoek aan potchrysan is uitgevoerd met de twee cultivars, 'Swing Time' en 'Omega Time'. De fotosynthese capaciteit is bij potchrysan ook relatief hoog. Boven de $410\text{--}450 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PAR licht op gewasniveau kan echter stress ontstaan. 'Omega Time' lijkt hier gevoeliger voor te zijn dan 'Swing Time'. Potchrysan reageert sterk op CO_2 . Optimum voor

de korte termijn ligt bij 800 ppm. De huidmondjesgeleidbaarheid bij potchrysant is relatief hoog. Dit betekent dat er makkelijk CO_2 uitgewisseld wordt. De huidmondjesgeleidbaarheid van potchrysant blijft relatief stabiel bij toename van de VPD_{blad} dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld Cycloam. De trend laat echter wel zien dat 'Omega Time' gevoeliger is voor een toename in VPD_{blad} dan 'Swing Time'. Saintpaulia is een gewas dat duidelijk anders reageert. Het onderzoek aan Saintpaulia is uitgevoerd met 2 cultivars, 'Cilia' en 'Sonja'. De fotosynthese capaciteit is bij Saintpaulia relatief laag. Het optimale lichtniveau lag in dit onderzoek bij ca $120 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ PAR licht op gewasniveau. Boven de $190 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ PAR licht op gewasniveau kan echter stress ontstaan. Beide cultivars zijn gevoelig hiervoor. Door de relatief lage fotosynthese was het moeilijk om conclusies te trekken met betrekking tot de optimale CO_2 concentratie. Het lijkt erop dat een concentratie van 800-900 ppm voor deze rassen optimaal is. Wij weten echter uit ervaring dat deze concentratie kan leiden tot een harder en bros gewas, waardoor bladeren makkelijk breken. Om deze reden wordt veelal 600-800 ppm geadviseerd. De huidmondjesgeleidbaarheid bij Saintpaulia is relatief laag. Dit betekent dat er niet zo makkelijk CO_2 uitgewisseld wordt.

Voor verdere optimalisatie is het aan te bevelen om het huidige GrowSense concept uit te breiden met een nauwkeurige module voor de VPD-afhankelijkheid van de fotosynthese, in relatie tot de te realiseren omgevingscondities temperatuur, licht en CO_2 . Uit dit onderzoek is het grote belang van de VPD-afhankelijkheid gebleken. Tevens is het duidelijk geworden dat het rendement van de productie van potplanten nog sterk verbeterd kan worden door bij hogere zonlichtintensiteiten te telen. Dit kan alleen als de optimalisatie van licht en VPD gebaseerd worden op softsensoren die de reacties van de huidmondjes goed voorspellen. De tool is bedoeld als instrument, waarmee de teler zelf uit de voeten kan en beter inzicht krijgt in teeltoptimalisatie en energiebesparingsmogelijkheden.

Bijlage 1 Teeltkarakteristieken

Teeltkarakteristiek Anthurium andreanum

Algemeen	geschiedenis	Tot de jaren tachtig was binnen de Anthurium met name A. scherzerianum op de markt, daarna is Anthurium andreanum steeds belangrijker geworden.
	achtergrond	Familie van Araceae (aronskelkachtigen) Schaduwplant uit de tropen
	kenmerken	Groene bladplant met een kolfvormige bloeiwijze en een vaak opvallend gekleurd schutblad.
Sortiment		Groot sortiment met diverse kleuren en potmaten, daarnaast leverbaar van klein- tot grootbloemig.
Aantallen		In 2007 bijna 13 miljoen stuks
Productie rassen		Top tien: True Love, Leny, Silence, Pink Chapion, Vito, Red Queen, Dakota, Robino, Vivaro en Vitara
Vermeerdering/opkweek	in vitro	Om anthurium te vermeerderen wordt in vitro vermeerdering toegepast. Een homogene vermeerdering uit zaad is niet mogelijk.
Leveranciers/veredelaars		Anthura B.V., Bleiswijk RijnPlant, De Lier KP Holland, Naaldwijk
Teelt	oppotten	Na oppotten potten tegen elkaar, in driehoeks- of vierkantverband.
	potmaten	Potmaat 10 cm tot 27 cm
	aflvertijd	Jaarrond, in zomermaanden wat minder
	temperatuur	Verwarmingstemperatuur varieert van minimaal 18°C in de wintermaanden tot 21°C bij voldoende instraling. Bij een vegetatief gewas geldt een hogere etmaaltemperatuur dan bij een generatief gewas. In de Alle stadia staan vaak in één afdeling, temperatuurregeling wordt daarom een compromis.
	daglengte	Dagneutraal
	RV	70-80%
	teeltduur (oppotten tot afleveren)	12 cm -> 34 wkn 14 cm -> 36 wkn en 17 cm -> 38-42 wkn
	uitzetten	kleine potmaten 1-2 x uitzetten, grote potmaten 2-3 x uitzetten
	licht	Een hogere lichtintensiteit geeft in het algemeen een snellere groei, meer scheutgroei en meer bloei, maar bij teveel instraling ook blad- en bloemverkleuring of bladverbranding. Teelniveau 180-220 micromol par of 10-14 klux.
	Schermen	Krijtscherm veelal van april tot eind augustus, daarnaast 1 of 2 beweegbare schermen, maximaal 300 W/m2 globale straling
	(assimilatie)belichting	indien rendabel tot 10.000 lux, 'dag'lengte 14-16 uur
	CO ₂	700 ppm gemiddeld
	watergeven	In bloeistadium bij voorkeur onderdoor, bovendoor is kans op blad-en bloemvervuiling en kurkvorming groter. Na bovendoor gieten wordt nagespoeld Mogelijkheid om bovendoor te gieten is wel wenselijk om bovenlaag voldoende vochtig te houden.
	bemesting	ECgift 1,3-2,0 mS/cm. Indien over het gewas wordt berekend moet worden nagespoeld. EC in pot 0,6 -1,0 mS/cm pH in pot 5,0 - 6,0 ; Voorkom hoog Borium en een lage Magnesium en Calcium-waarde. Oppotten, uitzetten en veilingklaar maken
	gewashandelingen	
Houdbaarheid	eisen	Moet een aantal maanden goed blijven
Kwaliteitskenmerken/eisen	per plant	goede plant/pot verhouding, voldoende bloem, geen bladverkleuringen
	per partij	gelijkheid qua plantopbouw en bloeirijkheid.
Verpakking	afleveren	Ingehoest op karren
Uitval		Xanthomonas, wortelknobbelaaltje en diverse schimmels (pythium, fusarium, colletotrichum, cylindrocarpon, cylindrocladium)
Ontwikkelingen		Met name gevoelig voor trips, luis en spint. Schaalvergroting en automatisering

Teeltkarakteristiek Kalanchoe

Algemeen	geschiedenis	Meest geteeld zijn de rassen van Kalanchoe blossfeldiana Meer dan 150 soorten bekend
	achtergrond	PseudoCAM plant; Plant legt overdag CO ₂ vast, maar kan, onder ongunstige omstandigheden, dit ook 's nachts doen
	kenmerken	Plant is een KD (korte dag) plant. Betekent dat voor bloeiinductie KD nodig is
Sortiment		Groot assortiment, overwegend van Fides (De Lier)
Produksoorten		Mini, midi; 6 cm, 9 cm, 10,5 cm, 12 cm, 13, cm, 15 cm en schalen
Aantallen		In 2004 ongeveer 54 miljoen stuks (Kalanchoe blossfeldiana)
Vermeerdering/opkweek	stek	Altijd kopstek, direct in eindpot gestoken, jaarrond
Teelt	teeltduur	Oppotten tot afleveren: winter 15 - 16 weken, zomer 13 - 14 weken
	aflevertijd	Jaarrond
	oppotten	In de eindpot steken. Afhankelijk van potmaat 1 of meerdere stekken per pot teeltduur van pot/pot fase: 3 - 6 weken (zomer 3 wkn, winter 4-6 wkn) Teeltduur van botanische soorten is vaak langer
	potmaten	6 cm, 9 cm, 10,5 cm, 12 cm, 13, cm, 15 cm en schalen
	temperatuur	Tijdens bewortelen: 22 °C (21 - 23 °C) Tijdens teelt, verwarmingstemperatuur: 19 °C dag-nacht (18-20 °C), vrijwel jaarrond. Hogere temperatuur alleen in combinatie met meer licht vergroot het aantal scheuten. Een hogere temperatuur verkort de tijd tot bloeien maar maakt langere planten en een kleinere Temperaturen hoger dan 24 à 25 oC stimuleren bloeivertraging. Temperatuurverhoging leidt slechts tot een geringe droge stoftoename en zelfs tot een afname van de het droge stofgehalte van de bloemen.
	RV	80% gemiddeld Mogelijk gebruik van luchtbevochtiging
	uitzetten	Na 1x uitzetten vaak in de KD
	plantdichtheid	Eindafstand: 43 pl/m ² (10,5 cm) tot 10 pl/m ² afhankelijk van de potmaat
	groeiregulatie	Chemisch met Alar/Dazide, CCC of Bonzi; Gewasgroei is goed te monitoren middels groeimodellen
	licht	In de donkere periode van het jaar belichten voor de LD periode (> 13,5 uur) Meer licht stimuleert het aantal scheuten Meer licht stimuleert de grootte van de bloeiwijze Meer licht verkort de tijd tot bloeien. Meer licht heeft een minder sterk effect op de plantlengte (planten worden er minder groot van) dan een hogere temperatuur Meer licht heeft een sterker effect op het aantal scheuten dan een hogere temperatuur Licht zorgt ook voor toename van het droge stofgehalte met name ook dat van de bloemen. Er kan niet eindeloos meer licht worden gegeven, omdat er verzadiging optreedt.
	schermniveau	450-650 W/m ²
	(assimilatie)belichting	3000 - 4000 lux voor de dagperiode Proefresultaten geven aan dat het teelttechnisch meer kan zijn
	CO₂	600 - 800 ppm

Teeltkarakteristiek Spathiphyllum

Algemeen	geschiedenis	Sinds 20 jaar een kamerplant
	achtergrond	Familie van Araceae (aronskelachtigen) Schaduwplant uit de tropen
	kenmerken	Groene bladplant met witte bloemen
Sortiment		Potmaat 6,5 cm tot 27 cm
Aantallen		In 2004 ruim 20 miljoen stuks
Productie rassen		Chopin, Quatro, Sweet Chico zijn veel geteelde rassen voor 6,5 cm tot 17 cm Loretta en Sensation van 19 cm tot 27 cm
Vermeerdering/opkweek	zaad	Ongeveer 60% komt uit zaad, o.a. Chopin en Quatro
	in vitro	Ongeveer 40% komt uit weefselkweek, o.a. Chico en Loretta Sneller nieuwe rassen te maken t.o.v. zaad, waarbij je moet terugkruisen Gelijkmatige en snelle groei, regelmatig bloei, verkorting van de teeltduur en een beter programmeerbare teelt
Leveranciers/veredelaars		KP Holland, Naaldwijk Pothos Plant, Honselersdijk Van der Voort Young Plants, Honselersdijk
Teelt	oppotten	Tegen elkaar beginnen, 1 ^e keer uitzetten op grofweg 50%, grote potmaten 2x uitzetten
	potmaten	50/m ² (9 cm), 30/m ² (12 cm), 12/m ² (17 cm) + bedrijfseigen
	aflevertijd	Jaarrond normaal, per periode incidenteel
	temperatuur	Verwarmingstemperatuur 21 °C dag-nacht, vrijwel jaarrond Vegetatieve groei optimaal bij 23-24 °C. Praktijk hanteert voor groei: 22-23 °C Bloei temperatuur 18-21 °C. Hogere temperaturen vertragen de bloei. Alle stadia staan vaak in één afdeling, temperatuurregeling wordt daarom een compromis. Grotere verschillen in D/N geeft bloeiverlating
	daglengte	Dagneutraal
	RV	80% gemiddeld het streven
	teeltduur (oppotten tot afleveren)	9 cm -> 15 wkn 12 cm -> 20 wkn en 17 cm -> 28 wkn
	uitzetten	frequentie: 1-2 keer
	bloei regulatie	1x gibberelline (GA) voor de bloei (merknaam: Berelex of Rapid grow) Cytokinen versnellen scheutaanleg, maar zorgen niet voor meer scheuten.
	licht	Een hogere lichtintensiteit geeft in het algemeen een snellere groei en meer scheutgroei, maar bij teveel instraling ook kleiner blad en/of problemen met afstervende bladpunten.
	Schermen	Krijtscherm veelal van februari tot oktober, daarnaast 1 of 2 beweegbare schermen, rond 250 W/m ² globale straling
	(assimilatie)belichting	Alleen in de opkweek, 16 uur maximaal, 4000-5000 lux
	CO ₂	700 ppm gemiddeld
	gewashandelingen	Geen. Netjes maken bij afleveren, eventueel vroegbloei verwijderen

Bijlage 2 Literatuurlijst groeimodellen

- Abdel-Ghany-Ahmed-M , Kozai-Toyoki; Abdel-Shafi-Nabil-Y; Taha-Ibrahim-S; Huzayyin-Ahmed-S. Dynamic simulation modeling of heat and water vapor transfer in a fluid-roof greenhouse. *Journal-of-Agricultural-Meteorology*. December, 2001; 57 (4): 169-182.
- Boegemann-B., A bio-economic simulation model for production planning and control in greenhouse production 2. The model Radsim. *Gartenbauwissenschaft*-. 1985; 50 (1): 42-47.
- Boulard-T., Wang-S., Greenhouse crop transpiration simulation from external climate conditions. *Agricultural-and-Forest-Meteorology*, 2000; 100 (1): 25-34.
- Challa, H. and A.H.C.M. Schapendonk, 1983. Quantification of light reduction in greenhouses on yield. *Acta Hort*. 148: 501-510.
- Challa, H. and A.H.C.M. Schapendonk, 1986. Dynamic optimisation of CO₂ concentration in relation to climate control in greenhouses. In: Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops. Enoch, H.Z. and Kimball, B.A., eds. CRC press inc., Boca Raton, Florida, pp147-160.
- Degrandi-Hoffman-Gloria, Mayer-Dan, Terry-Irene, Li-Donghu. Validation of PC-REDAPOL: Fruit set prediction model for apples. *Journal-of-Economic-Entomology*. 1995; 88 (4) 965-972.
- Devi-Gayatri; Ito-O; Matsunaga-R; Tobita-S; Rao-T-P; Vidyalakshmi-N ; Lee-K-K. Simulating root system development of short-duration pigeonpea. *Experimental-Agriculture*. 1996; 32 (1) 67-78.
- De-Visser-C-L-M., ALCEPAS, an onion growth model based on SUCROS87. II. Validation of the model. *Journal-of-Horticultural-Science*. 1994; 69 (3) 519-525.
- Evans, L.T. (1990). Assimilation, allocation, explanation, extrapolation. In: Rabbinge, R., Goudriaan, J., Van Keulen, H., Penning de Vries, F.W.T. & Van Laar, H.H. (Eds), *Theoretical Production Ecology: reflections and prospects*. Simulation Monographs 34, Pudoc, Wageningen: 77-87.
- FERNANDEZ-C-J MCCREE-K-J., VISUALIZING DIFFERENCES IN PLANT WATER DYNAMICS WITH A SIMULATION MODEL. *Crop-Science*. 1991; 31 (2): 399-404.
- Givnish, T.J. (Ed.) (1986). *On the economy of plant form and function*. Cambridge University Press, Cambridge: xvii + 700 pp.
- Greenwood,-D.J.; Rahn,-C.; Draycott,-A.; Vaidyanathan,-I.V.; Paterson,-C. Modelling and measurement of the effects of fertilizer-N and crop residue incorporation on N-dynamics in vegetable cropping. *Soil-use-manage*. Oxford : CAB International. Mar 1996. v. 12 (1) p. 13-24.
- Greenwood-D-J ; Rahn-C ; Draycott-A; Vaidyanathan-L-V; Paterson-C. Modelling and measurement of the effects of fertilizer-N and crop residue incorporation on N-dynamics in vegetable cropping. *Soil-Use-and-Management*. 1996; 12 (1) 13-24.
- Grossman-Yaffa-L; Dejong-Theodore-M PEACH: A simulation model of reproductive and vegetative growth in peach trees. *Tree-Physiology*. 1994; 14 (4) 329-345.
- Haverkort, A.J. and A.H.C.M. Schapendonk, 1994. Crop reactions to environmental stress factors. In: *Plant production on the threshold of a new century*. P.C. Struik, W.J. Vredenberg, J.A. Renkema and J.E. Parlevliet (eds.). Developments in plant and soil sciences, 61. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp339-347.
- Heinen-Marius FUSSIM2: Brief description of the simulation model and application to fertigation scenarios. *Agronomie-Paris*, 2001; 21 (4): 285-296.
- Heuvelink-E Dry matter partitioning in tomato: Validation of a dynamic simulation model. *Annals-of-Botany-London*. 1996; 77 (1) 71-80.
- Heuvelink-E., Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development. *Annals-of-Botany-London*. 1999; 83 (4) 413-422.
- Hoogenboom-Gerrit, White-Jeffrey-W. Improving physiological assumptions of simulation models by using gene-based approaches. *Agronomy-Journal*. 2003; 95 (1): 82-89.
- Hoogenboom-Gerrit, White-Jeffrey-W; Acosta-Gallegos-Jorge; Gaudiel-Refe-G; Myers-James-R; Silbernagel-Matt-J Evaluation of a crop simulation model that incorporates gene action. *Agronomy-Journal*. 1997; 89 (4) 613-620.

- Hopper-Douglas-A, Hammer-P-Allen; Wilson-James-R A simulation model of *Rosa hybrida* growth response to constant irradiance and day and night temperatures. *Journal-of-the-American-Society-for-Horticultural-Science*. 1994; 119 (5) 903-914.
- Husmann,-H.J.; Tantau,-H.J. Integrated optimization of energy supply systems in horticulture using genetic algorithms. *Comput-electron-agric*. 2001. v. 31 (1) p. 47-59.
- Inamoto-Katsuhiko, Sakoda-Sumiya; Hase-Takanori; Katsukawa-Kenzo; Aoki-Mitsuyuki; Doi-Motoaki; Imanishi-Hideo Application of a dynamic growth simulation model to hydroponic production system for cut tulip. *Journal-of-the-Japanese-Society-for-Horticultural-Science*. 2001; 70 (3): 310-314.
- Jeuffroy-Marie-Helene, Devienne-Florence A simulation model for assimilate partitioning between pods in pea (*Pisum sativum* L.) during the period of seed set; validation in field conditions. *Field-Crops-Research*. 1995; 41 (2) 79-89.
- KANO-A, VAN-BAVEL-C-H-M. DESIGN AND TEST OF A SIMULATION MODEL OF TOMATO GROWTH AND YIELD IN A GREENHOUSE. *Journal-of-the-Japanese-Society-for-Horticultural-Science*. 1988; 56 (4): 408-416.
- LAU-A-K., STALEY-L-M SOLAR RADIATION TRANSMISSION AND CAPTURE IN GREENHOUSES. *Canadian-Agricultural-Engineering*. 1989; 31 (2): 204-216.
- LIETH-J-H., CARPENTER-P., MODELING STEM ELONGATION AND LEAF UNFOLDING OF EASTER LILY DURING GREENHOUSE FORCING. *Scientia-Horticulturae-Amsterdam*. 1990; 44 (1-2): 149-162.
- LIETH-J-H., PASIAN-C-C., A SIMULATION MODEL FOR THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF FLOWERING ROSE SHOOTS. *Scientia-Horticulturae-Amsterdam*. 1991; 46 (1-2): 109-128.
- Li-Juan; Guo-ShiRong; Luo-WeiHong; Li-J; Guo-SR; Luo-WH Simulation model for photosynthesis and dry matter accumulation in greenhouse cucumber. *Transactions-of-the-Chinese-Society-of-Agricultural-Engineering*. 2003, 19: 4, 241-244; 13 ref.
- Li-Longyun-Qin-Songyun; Liao-Guangping; Fang-Qingmao. Studies on optimal high-yield agronomic measures for *Curcuma longa* L. *Yang-Shenghoung Zhongguo-Zhongyao-Zazhi* 1997; 22 (3) 145-147, 190.
- Malezieux-Eric Zhang-Jingbo; Sinclair-Eric-R; Bartholomew-Duane-P. Predicting pineapple harvest date in different environments, using a computer simulation model. *Agronomy-Journal*. 1994; 86 (4) 609-617.
- Marcelis L.F.M., M. Blom-Zandstra, E. Meinen, A.H.C.M. Schapendonk, H.A.G.M. van den Boogaard., 1999 Plantsensoren en modellen: luisteren wat de plant zegt. In: *Metten en regelen in de glastuinbouw*. L.F.M. Marcelis, E.A. van Os en R Booij eds. pp. 31-42.
- MARCELIS-L-F-M. SIMULATION OF PLANT-WATER RELATIONS AND PHOTOSYNTHESIS OF GREENHOUSE CROPS. *Scientia-Horticulturae-Amsterdam*. 1989; 41 (1-2): 9-18.
- Mazumdar, J. (1989). *An introduction to mathematical physiology and biology*. Cambridge University Press, Cambridge: 208 pp.
- MCCREE-K-J ; FERNANDEZ-C-J; FERRAZ-DE-OLIVEIRA-R-F., VISUALIZING INTERACTIONS OF WATER STRESS RESPONSES WITH A WHOLE PLANT SIMULATION MODEL. *Crop-Science*. 1990; 30 (2): 294-300.
- MORISHITA-M., HONDA-F., DEVELOPMENT AND APPLICATION OF MONTE CARLO SIMULATION MODEL ON FRUIT PRODUCTION OF THE FORCING STRAWBERRY. *Bulletin-of-the-National-Research-Institute-of-Vegetables-Ornamental-Plants-and-Tea-Series-D*. 1988; (1): 29-42.
- Nederhoff, E.M. and A.H.C.M. Schapendonk, 1985. Effects of environmental conditions on growth and production of cucumber: a comparison between empirical and simulated data. *Acta Hort*. 174: 251-258.
- NEDERHOFF-E-M., GIJZEN-J-G; VEGTER-J. MEASUREMENT AND SIMULATION OF CROP PHOTOSYNTHESIS OF CUCUMBER *CUCUMIS-SATIVUS* L. IN GREENHOUSES *Netherlands-Journal-of-Agricultural-Science*. 1988; 36 (3): 253-264.
- Nishina-Hiroshige; Nakamura-Hirofumi; Asaumi-Hideki; Masui-Yoshinori; Hashimoto-Yasushi. Simulation model of thermal environment and comfort in rooms where plants are placed. *Environment-Control-in-Biology*. 1995; 33 (4) 277-284.

- Palchetti-C , Gozzini-B, Miglietta-F; Orlandini-S. The effect of training system and cultivar on the rate of leaf appearance of the grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Journal-International-des-Sciences-de-la-Vigne-et-du-Vin*. 1995; 29 (2) 69-74.
- Pien-H {a}; Lemeur-R {a}; De-Cordt-W; Baets-W., Tomato yield evaluation for growers based on TOMGRO. *Mededelingen-Faculteit-Landbouwkundige-en-Toegepaste-Biologische-Wetenschappen-Universiteit-Gent*. 1999; 64 (4): 183-187.
- Rao-S-C; Saxena-K-B; Pachepsky-L-B ; Reddy-V-R. Modeling pigeonpea phenology. *International-Journal-of-Biotronics*. December 2002 2002; 31: 85-100.
- Robertson-M-J., Carberry-P-S; Huth-N-I; Turpin-J-E; Probert-M-E; Poulton-P-L; Bell-M; Wright-G-C; Yeates-S-J; Brinsmead-R-B. Simulation of growth and development of diverse legume species in APSIM. *Australian-Journal-of-Agricultural-Research*. 2002; 53 (4): 429-446.
- Roehrig-M ; Stuetzel-H., A model for light competition between vegetable crops and weeds. *European-Journal-of-Agronomy*, 2001; 14 (1): 13-29.
- SADLER-E-J; VAN-BAVEL-C-H-M. SIMULATION AND MEASUREMENT OF ENERGY PARTITION IN A FLUID-ROOF GREENHOUSE. *Agricultural-and-Forest-Meteorology*. 1984; 33 (1): 1-14.
- Schacht-H, Schenk-M-K. Validation of a simulation model to control fertilisation of greenhouse cucumber in soilless culture. *Gartenbauwissenschaft*-. 1997; 62 (4) 145-151.
- Schacht-H; Schenk-M Controlling the nutrition of *Cucumis sativus* in recirculating nutrient solution by simulation model. *Gartenbauwissenschaft*. 1995; 60 (2) 77-85.
- Sequeira, R.A., Sharpe, P.J.H., Stone, N.D., El-Zik, K.M. & Makela, M.E. (1991). Object-oriented simulation: Plant growth and discrete organ to organ interactions. *Ecological Modelling* 58: 55-89.
- Spitters, C.J.T. & Schapendonk, A.H.C.M. (1990). Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by means of crop growth simulation. *Plant and Soil* 123: 193-203.
- Schapendonk, A.H.C.M. and H. Challa, 1980. Assimilate requirements for growth and maintenance of the cucumber fruit. *Acta Hort*. 118: 73-82.
- Schapendonk, A.H.C.M. and P. Brouwer, 1984. Fruit growth of cucumber in relation to assimilate supply and sink activity. *Scientia Hort*. 23: 21-33.
- Schapendonk, A.H.C.M. and P. Brouwer, 1985. Environmental effects on photosynthesis. Simulated and experimental results from a study on a 'Tomato-minicrop'. *Acta Hort*. 174: 269-276.
- Schapendonk, A.H.C.M. and P. Gaastra, 1984. A simulation study on CO₂ concentration in protected cultivation. *Scientia Hort* 23.: 217- 229.
- Schapendonk, A.H.C.M. and P. Gaastra, 1984. Physiological aspects of optimal CO₂ control in protected cultivation. *Acta Hort*. 148: 474-484.
- Schapendonk, A.H.C.M. and W. van Tilburg, 1984. The CO₂ factor in modelling photosynthesis and growth of greenhouse crops. *Acta Hort*. 162: 83-92.
- Schapendonk, A.H.C.M., Challa, H., Broekharst, P.W. and A.J. Udink ten Cate, 1984. Dynamic climate control, an optimization study for earliness of cucumber production. *Scientia Hort*. 23: 137-150.
- Schapendonk, A.H.C.M., M. Van Oijen, Riki van den Boogaard, and Jeremy Harbinson, 1999. Nitrogen shortage in a tomato crop; scaling up from effects on electron-transport rate to plant productivity. *Z. Naturforsch*. 54C 9-10: 840-848.
- Schapendonk, A.H.C.M., S.C. van de Geijn and E. Dayan, 1990. Effect of CO₂ concentration and temperature on photosynthesis and assimilate partitioning of a closed canopy. In: *The greenhouse effect and primary production in European agro-ecosystems*. J Goudriaan, H. van Keulen and H.H. van Laar (eds.), 38-41.
- Schapendonk-Ad-H-C-M., Van-Oijen-Marcel; Pot-Sander-C; Van-den-Boogaard-Riki; Harbinson-Jeremy. Nitrogen shortage in a tomato crop; scaling up from effects on electron-transport rate to plant productivity. *Zeitschrift-fuer-Naturforschung-Section-C-Journal-of-Biosciences*. 1999; 54 (9-10): 840-848.
- Silberbush,-M Lieth,-J-H Nitrate and potassium uptake by greenhouse roses (*Rosa hybrida*) along successive flower-cut cycles: a model and its calibration. *Scientia-Horticulturae-(Amsterdam)*. 2004; 101(1-2): 127-141

- Steininger-J; Pasian-C-C Lieth-J-H. Extension of a thermal unit model to represent nonlinearities in temperature response of miniature rose development. *Journal-of-the-American-Society-for-Horticultural-Science*. May, 2002; 127 (3): 349-354.
- De Wit, C.T. (1970). Dynamic concepts in biology. In: Setlík, I. (Ed.), *Prediction and measurement of photosynthetic productivity*. Proceedings IBP/PP Technical Meeting, Trebon, 1969. Pudoc, Wageningen: 17-23.
- White-Jeffrey-W., Hoogenboom-Gerrit Simulating effects of genes of physiological traits in a process-oriented crop model. *Agronomy-Journal*. 1996; 88 (3) 416-422.
- White-J-W {a}; Hoogenboom-G; Jones-J-W; Boote-K-. Evaluation of the dry bean model BEANGRO V1.01 for crop production research in a tropical environment. *Experimental-Agriculture*. 1995; 31 (2) 241-254.
- Wiebe-H-J Validation and Application of a Simulation Model for Flower Formation of Kohlrabi Depending on Vernalization and Devernalization. *Gartenbauwissenschaft*-. 1995; 60 (3) 97-101.
- WOLF-S., RUDICH-J; MARANI-A; REKAH-Y. PREDICTING HARVESTING DATE OF PROCESSING TOMATOES BY A SIMULATION MODEL. *Journal-of-the-American-Society-for-Horticultural-Science*. 1986; 111 (1): 11-16.
- Xinyou Yin, Egbert Lantinga, Ad.H.C.M. Schapendonk and Xuhua Zhong, 2003. Some Quantitative Relationships Between Leaf Area Index and Canopy Nitrogen Content and Distribution. *Annals of Botany* 91:893-903.
- Yin, X and Schapendonk, A.H.C.M. 2004. Simulating the partitioning of biomass and nitrogen between roots and shoot in crop and grass plants. *Netherland Journal of Agricultural Science* 51-4: 407-426
- Yin, X, M. van Oijen & Ad H.C.M. Schapendonk. 2004. Extension of a biochemical model for the generalised stoichiometry of electron transport limited C3 photosynthesis. *Plant Cell & Environment* 27: 1211-1222
- Yin, X., Ad.H.C.M. Schapendonk, Martin J. Kropff, Marcel van Oijen and Prem S. Bindra., 2000. A Method for simulating leaf senescence in crop growth models. *Annals of Botany* 85: 579-585.
- Zwart,-H.F.-de. A simulation model to estimate perspectives of energy saving measures in horticulture. *Acta-hortic*. Wageningen : International Society for Horticultural Science. Apr 1997. (443) p. 119-127.

Bijlage 3 Lijst van parameters

Variable	Definitie	Eenheden
A	Netto bladfotosynthese	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
C_a	Externe CO_2 concentratie	$\mu\text{mol mol}^{-1}$
C_i	Intercellulaire CO_2 concentratie	$\mu\text{mol mol}^{-1}$
D_J	Energie van deactivatie $J_{\max}$	J mol^{-1}
E	Activatie energie voor V_{cmax} , or K_{mC} , or K_{mO}	J mol^{-1}
$E_{J_{\max}}$	Activatie energie voor $J_{\max}$	J mol^{-1}
$E_{K_{\text{mC}}}$	Activatie energie voor K_{mC}	J mol^{-1}
$E_{K_{\text{mO}}}$	Activatie energie voor K_{mO}	J mol^{-1}
$E_{V_{\text{cmax}}}$	Activatie energie voor V_{cmax}	J mol^{-1}
f_{cyc}	Fractie van cyclisch elektron transport rond PS I	-
f_{pseudo}	Fractie van pseudo-cyclisch elektron transport	-
f_Q	Fractie van elektron transport in Q-cycle	-
h	Aantal protonen vereist voor de productie van 1ATP	mol mol^{-1}
I	PPFD geabsorbeerd door de chloroplasten, $= \sigma I_{\text{inc}}$	$\mu\text{mol PPFD m}^{-2} \text{s}^{-1}$
I_1	Geabsorbeerde PPFD naar PS I	$\mu\text{mol PPFD m}^{-2} \text{s}^{-1}$
I_2	Geabsorbeerde PPFD naar PS II	$\mu\text{mol PPFD m}^{-2} \text{s}^{-1}$
PAR	PAR op het blad (PPFD)	$\mu\text{mol PPFD m}^{-2} \text{s}^{-1}$
J	Snelheid van lineair elektron transport	$\mu\text{mol e}^{-} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
J_{cyc}	Snelheid van cyclisch elektron transport rond PS I	$\mu\text{mol e}^{-} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
J_{cyt}	Snelheid van elektron transport naar cytochrome c and plastocyanine	$\mu\text{mol e}^{-} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
$J_{\max}$	Maximum snelheid van elektron transport door PS II	$\mu\text{mol e}^{-} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
$J_{\max 25}$	$J_{\max}$ bij 25°C	$\mu\text{mol e}^{-} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
J_{NADP^+}	Snelheid van elektron transport naar de eindacceptor NADP^+	$\mu\text{mol e}^{-} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
J_{pseudo}	Snelheid van pseudocyclisch elektron transport	$\mu\text{mol e}^{-} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
K_{mC}	Michaelis-Menten constante voor CO_2	$\mu\text{mol mol}^{-1}$
$K_{\text{mC} 25}$	K_{mC} bij 25°C	$\mu\text{mol mol}^{-1}$
K_{mO}	Michaelis-Menten constante voor O_2	mmol mol^{-1}
$K_{\text{mO} 25}$	K_{mO} bij 25°C	mmol mol^{-1}
O	Zuurstof concentratie	mmol mol^{-1}
R	Universele gas constante	$\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
R_d	Donker ademhaling blad	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
$R_{d 25}$	R_d at 25°C	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
S_J	Entropie term in $J_{\max}-T$ relatie	$\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
V	Carboxylatie snelheid	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
V_c	RuBP-verzadigde carboxylatie snelheid	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
V_{cmax}	Maximum snelheid van RuBP carboxylatie	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
$V_{\text{cmax} 25}$	V_{cmax} bij 25°C	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
V_j	RuBP-gelimiteerde carboxylation snelheid (ETR-afhankelijk)	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
V_{omax}	Maximum oxygenatie snelheid van Rubisco	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
x	Fractie extra licht naar PS I voor cyclisch e- transport	-
θ	Convexities voor ETR curve	-
Φ_{leaf}	Maximum elektron transport efficiëntie van PS II	$\text{mol e}^{-} \text{mol}^{-1} \text{PPFD}$
Γ^*	CO_2 compensatiepunt in afwezigheid van donker ademhaling	$\mu\text{mol mol}^{-1}$

Constanten

Coëfficiënt	Vergelijking	Unit	Value	Referentie
D_J	(A)	J mol^{-1}	200000	Medley <i>et al.</i> (2002)
E_{Kmc}	(A5)	J mol^{-1}	79430	Bernacchi <i>et al.</i> (2001)
E_{Kmo}	(A5)	J mol^{-1}	36380	Bernacchi <i>et al.</i> (2001)
E_{vcmax}	(A5)	J mol^{-1}	65330	Bernacchi <i>et al.</i> (2001)
K_{mC25}	(A5)	$\mu\text{mol mol}^{-1}$	404.9	Bernacchi <i>et al.</i> (2001)
K_{mO25}	(A5)	mmol mol^{-1}	278.4	Bernacchi <i>et al.</i> (2001)
R	(A5),(A6)	$\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$	8.314	Farquhar <i>et al.</i> (1980)
S_J	(A6)	$\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$	650	Harley <i>et al.</i> (1992)
σ	$I = \sigma I_{inc}$	-	0.80 ^a	Long <i>et al.</i> (1993)
Φ_{leaf}	(3), (A4)	$\text{mol e}^{-} \text{mol}^{-1} \text{PPFD}$	0.85	Bernacchi <i>et al.</i> (2003)
θ	(3), (A4)	-	0.7	De Pury & Farquhar 1997)
R		$\text{KJ K}^{-1} \text{mol}^{-1}$	0.008314	

Bijlage 4 Luchtvochtigheid

VPD_{blad} in relatie tot RV in de kas

0.8 kPa komt overeen met:

- 25°C blad en 75% RV kas
- 30°C blad en 80% RV kas

1.5 kPa komt overeen met:

- 25°C blad en 55% RV kas
- 30°C blad en 65% RV kas

Luchtvochtigheid is een van de belangrijkste klimaatfactoren in de kas. Bij alle temperaturen kan waterdamp door condensatie overgaan in vloeibaar water en door verdamping weer in waterdamp. Voor verdamping van waterdamp is veel energie nodig, die bij condensatie weer vrijkomt. De overgang van waterdamp naar water en omgekeerd heeft grote invloed op de energiehuishouding in de kas. Inzicht in het begrip luchtvochtigheid en alles wat daarmee samenhangt, is dus van essentieel belang voor een goed kasklimaat.

De luchtvochtigheid is afhankelijk van de hoeveelheid waterdamp die in de lucht zit. Om een beeld te krijgen moet men rekening houden met de volgende factoren: absolute luchtvochtigheid, relatieve luchtvochtigheid (RV), dampdruk, dampdruk deficit, dauwpunt.

Absolute luchtvochtigheid

Is de hoeveelheid waterdamp (g/m^3) die de lucht maximaal kan opnemen. Omrekeningen van absolute luchtvochtigheid naar relatieve luchtvochtigheid kan alleen als de temperatuur bekend is. Bijvoorbeeld 15 g/m^3 bij $17,5^\circ\text{C}$ is gelijk aan 100% RV, terwijl bij 25°C het gelijk is aan 65% RV.

Relatieve luchtvochtigheid (RV)

De relatieve luchtvochtigheid is de verhouding tussen de hoeveelheid waterdamp die in de lucht zit en de hoeveelheid die de lucht bij dezelfde temperatuur maximaal kan opnemen. De RV wordt uitgedrukt in procenten. Bijvoorbeeld bij 20°C kan de lucht $17,3 \text{ g/m}^3$ waterdamp bevatten. Als er nu maar 13 g/m^3 inzit bij 20°C is er een RV van 75%.

Veranderingen in de RV zijn afhankelijk van twee factoren: de temperatuur en het vochtgehalte. Bij een gelijk vochtgehalte daalt de RV als de temperatuur stijgt. Omgekeerd stijgt de RV als de temperatuur daalt. Als de luchttemperatuur gelijk blijft maar het vochtgehalte veranderd wijzigt ook de RV.

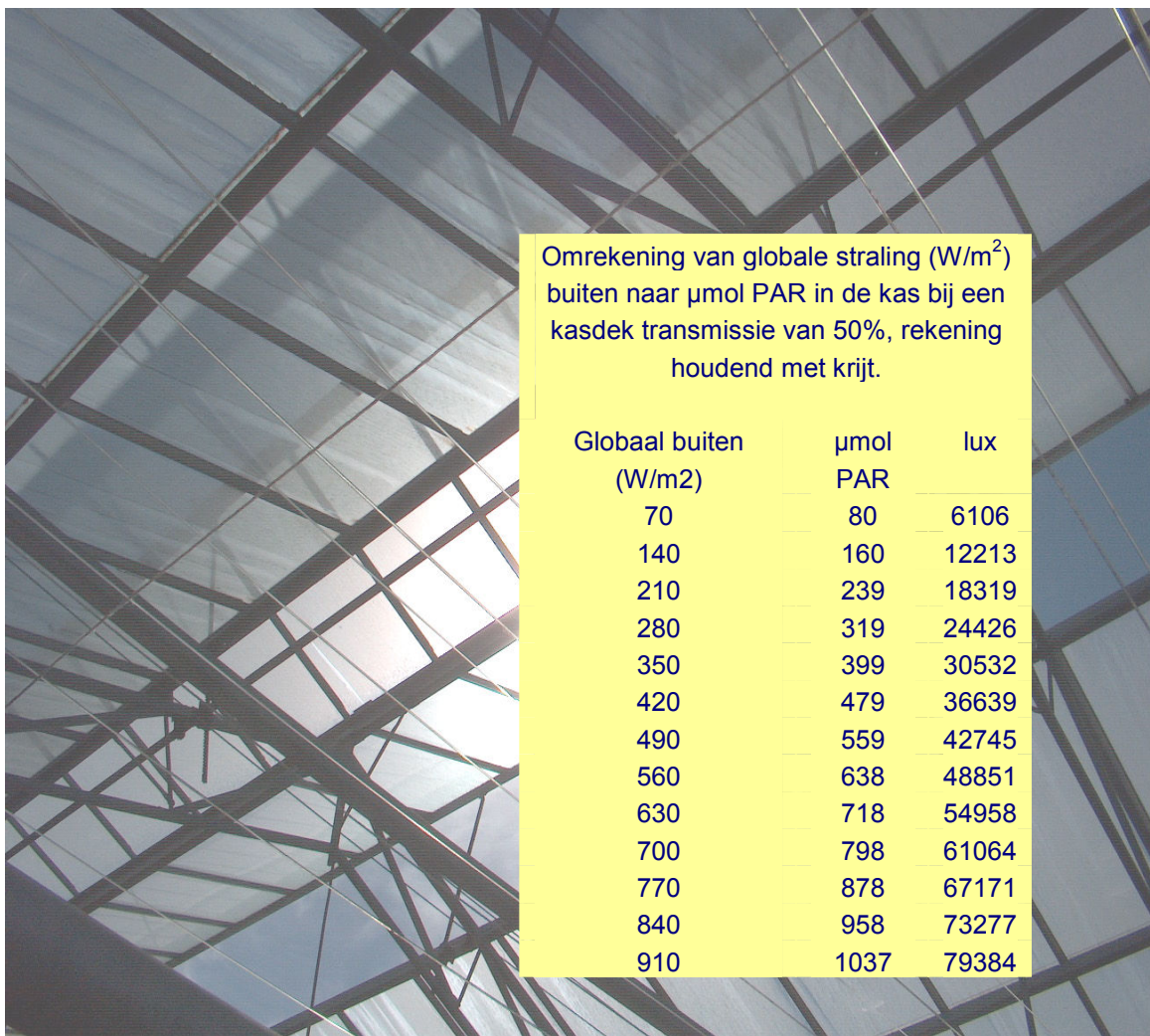
Dampdruk (VP) en dampdruk deficit (VPD_{blad})

Dampdruk ontstaat door botsingen van waterdampmoleculen. De druk die de moleculen uitoefenen hangt af van de massa en de gemiddelde snelheid (is temperatuur) van de moleculen. Alle gassen die zich in de lucht bevinden maken samen de luchtdruk. Dampdruk van water ligt normaal ergens tussen de 1 en 5 kPa.

Het waterdampdruk deficit is het verschil tussen de maximale waterdampdruk en de actuele waterdampdruk. De VPD_{blad} ligt normaal tussen de 0.1 kPa (hoge luchtvochtigheid) en de 3 kPa (lage luchtvochtigheid). Een lage VPD_{blad} betekent een hoge luchtvochtigheid en omgekeerd. Hoe hoger de VPD_{blad} hoe droger de lucht en hoe meer de plant moet verdampen.

Bijlage 5 Licht

In deze studie wordt licht uitgedrukt in $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$. Omdat niet iedereen deze eenheid hanteert, kan met deze tabel een omrekening naar globale straling buiten gemaakt worden, (mits de transmissie van het kasdek bekend is) of naar de eenheid lux. Uitgaande van het feit dat ongeveer 45% van de globale straling uit PAR licht bestaat betekent dat bij 360 W/m^2 globale straling er maximaal $360 \times 0,5$ (transmissie) $\times 0,45 = \text{ca } 80 \text{ W PAR}$ overblijft in de kas. Voor zonlicht geldt dat 1 W PAR gelijk is aan 4,56 μmol . 80 W/m^2 PAR in de kas is gelijk aan 365 $\mu\text{mol PAR}$ in de kas. Onder niet geschermded condities, bijvoorbeeld bij 650 W/m^2 buiten is de lichtintensiteit in de kas 325 W/m^2 globaal = $325 \times 0.45 = 146 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ PAR} = 670 \mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ PAR}$.



Omrekening van globale straling (W/m^2) buiten naar $\mu\text{mol PAR}$ in de kas bij een kasdek transmissie van 50%, rekening houdend met krijt.

Globaal buiten (W/m^2)	$\mu\text{mol PAR}$	lux
70	80	6106
140	160	12213
210	239	18319
280	319	24426
350	399	30532
420	479	36639
490	559	42745
560	638	48851
630	718	54958
700	798	61064
770	878	67171
840	958	73277
910	1037	79384