



GrowSense 2



Energiebesparing door optimalisatie van de teeltfactoren temperatuur, CO₂, licht en VPD op basis van plantreacties

DLV Plant
Postbus 7001
6700 CA Wageningen

AgroBusinessPark 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 (PT)
Postbus 280
2700 AG Zoetermeer

Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I)
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

Uitgevoerd door

Patrick Dankers, Erik de Rooij, Helma Verberkt, DLV Plant
Anton Blaakmeer, Tanja Roovers-Huijben, Grow Technology
Sander Pot, Govert Trouwborst, Plant Dynamics

PT - Projectnummer: 13236

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.



Uw sector investeert in dit project via het Productschap  Tuinbouw



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1. Inleiding en doel	6
1.1 Inleiding	6
1.2 Doelstelling	7
1.3 Werkzaamheden, werkwijze(n)	10
1.4 Kennisoverdracht	12
1.5 Leeswijzer	13
2. Uitbreiding stressdetectie GrowSense 2	14
3. Resultaten toetsing GrowSense 2 model	16
3.1 Werkwijze toetsing resultaten	16
3.2 Toetsing Anthurium model	18
3.3 Toetsing Kalanchoë model	19
3.4 Toetsing Spathiphyllum	21
4. Praktisch groei en monitoringssysteem	23
4.1 Controle Fotosynthese rendement en plantvitaliteit in de morgen	24
4.2 Maximale en gerealiseerde assimilatie	25
4.3 Lichtgebruik	26
5. Energiebesparing	27
5.1 Energiescherm	27
5.1.1 Case 1; Hoe laat moet het scherm open?	27
5.1.2 Case 2; Schermperiode goed gekozen?	29
5.2 Krijten	29
5.2.1 Anthurium	29
5.2.2 Kalanchoë	30
5.2.3 Spathiphyllum	30
6. Conclusies en aanbevelingen	32
Literatuurlijst	34

Bijlagen	35
7. Sensoren en berekeningen	35
7.1 GrowWatch	35
7.2 Relevante plantsensoren voor GrowSense	36
7.3 Berekende waarden vanuit de sensormetingen: softsensoren	38
8. Handleiding plaatsing GrowWatch	40
9. Uitleg chlorofyl-fluorescentie	41
10. Bepaling gewasspecifieke parameters	43
11. Teeltvoorbeeld lichtstress	45
12. Praktijkmonitoring (fase 3)	46
13. Resultaten praktijkmonitoring	47
13.1 Kalanchoë	47
13.1.1 Opzet en meetprotocol Kalanchoë	47
13.1.2 Gewaswaarnemingen	47
13.2 Anthurium	52
13.2.1 Opzet en meetprotocol Anthurium	52
13.2.2 Gewaswaarnemingen teeltronde 1	53
13.2.3 Gewaswaarnemingen teeltronde 2	58
13.2.4 Relatie vers- en drooggewicht	62
13.3 Spathiphyllum	63
13.3.1 Opzet en meetprotocol Spathiphyllum	63
13.3.2 Gewaswaarnemingen teeltronde 1	64
13.3.3 Gewaswaarnemingen teeltronde 2	68

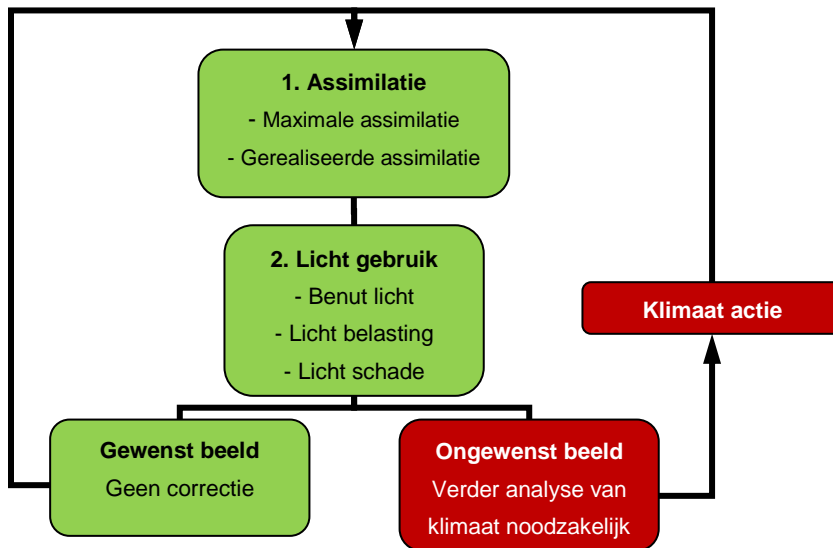
Samenvatting

In de periode van 2008 tot 2011 is, het door het Productschap Tuinbouw, Kas als energiebron en het ministerie ELI gefinancierd, project GrowSense 2 uitgevoerd. In een samenwerking tussen DLV Plant, Plant Dynamics en Grow Technology is het GrowSense 2 model ontwikkeld. In dit project zijn (plant)sensoren en vernieuwende berekeningen gecombineerd om daar meettemperatuur, CO₂ en licht efficiënter in te zetten. Het GrowSense 1 concept (Verberkt et al. 2010) is uitgebreid met een nauwkeurige module voor de VPD (dampdrukverschil tussen blad en lucht) -afhankelijkheid van de fotosynthese, in relatie tot temperatuur, licht en CO₂. Daarnaast is er veel geïnvesteerd in de presentatie van de resultaten van de berekeningen. Hierdoor zijn overzichtelijke grafieken ontstaan die een duidelijk beeld geven van de actuele situatie van de plant. Belangrijkste resultaat is hierbij dan ook de lichtverdelingsgrafiek. Met deze grafiek wordt inzichtelijk gemaakt hoe de plant met het licht omgaat. Door deze actuele kennis biedt het GrowSense 2 model veel mogelijkheden voor energiebesparing en teeltoptimalisatie.

Het project is in vier fases uitgevoerd. Er is gestart met het bepalen van gewasspecifieke parameters. Deze parameters zijn vervolgens in fase 2 geïmplementeerd in het model in de software van de GrowWatch. In fase 3 is in een praktijkmonitoring één jaar lang het model getoetst bij verschillende soorten potplanten. De uitkomsten hieruit zijn in fase 4 uiteindelijk verwerkt in een praktisch groei- en energiemonitoringsmodel.

De GrowWatch registreert klimaatparameters en is uitgerust met een aantal plantsensoren. De GrowWatch is de basis van het GrowSense 2 model. De plantivity, die de fluorescentie meet, is hierbij zeer belangrijk. Uiteindelijk is de combinatie van sensoren cruciaal om een compleet beeld te krijgen van de conditie van de plant. Door deze combinatie is het mogelijk middels het GrowSense 2 model de lichtverdeling, fotosynthese en het fotosynthese rendement te berekenen. Deze grafieken zijn het resultaat van het model en vormen voor de teler de basis om beslissingen te nemen.

Het fotosynthese rendement geeft 'de vitaliteit van de plant' aan. Deze parameter is vooral in de ochtend van belang. Wanneer een plant minder vitaal is kan hiermee gedurende de dag rekening gehouden worden door bijvoorbeeld aanpassingen in de scherm strategie. Gedurende de dag is de analyse die weergegeven is in figuur 1 van belang. In deze 2 grafieken wordt de assimilatie en het lichtgebruik weergegeven. De assimilatie wordt aangegeven met een maximale en een gerealiseerde waarde. Hierdoor is zichtbaar in hoeverre de omstandigheden optimaal zijn voor de groei van het gewas. De tweede grafiek verdeelt het aangeboden licht in 3 parameters. Benut licht wordt gebruikt in het fotosynthese proces, lichtbelasting is de lichtenergie die gecontroleerd afgevoerd wordt middels warmte en lichtschade is een overmaat aan licht die schade kan geven aan het fotosynthesesysteem. Wanneer de grafieken afwijken dient er een verdere analyse plaats te vinden van de klimaat- en plantparameters.



Figuur 1 Analyse assimilatie en lichtgebruik

Door gebruik te maken van deze grafieken is het mogelijk zeer snel een beeld te krijgen hoe het gewas presteert. Door deze inzichten is groei optimalisatie mogelijk en energiebesparing. Door de plantreactie duidelijk te hebben kan er gericht geregeld worden. Dit zal voornamelijk gaan om momentbesparingen, bijvoorbeeld iets eerder schermen of een uurtje later starten met belichten. De energiebesparing is dan ook moeilijk exact te berekenen, het is niet of nauwelijks te achterhalen hoeveel van dergelijke momenten er plaats vinden. De ervaringen in de praktijk geven een verwachte besparing aan van 5-10%. Dit zal deels ontstaan uit minder energieverbruik en deels door teeltoptimalisatie.

Tijdens de praktijkperiode geven de gebruikers aan dat het GrowSense model een leerproces is. Het duurt enige tijd voordat nieuwe parameters goed geïnterpreteerd kunnen worden. Wanneer dit goed gaat, wordt pas goed duidelijk welke en hoeveel inzichten het model geeft. Des ondanks verdient het de aanbeveling dat het model voor meer gewassen wordt aangepast. Het model zal dan ook nooit 'af' zijn. Nieuwe ontwikkelingen en nieuwe inzichten zullen continu in het model ingebracht dienen te worden. Hierdoor zal er nog meer inzicht ontstaan en dit zal bijdragen aan de bedrijfszekerheid en het economisch rendement in de Nederlandse tuinbouw.

1. Inleiding en doel

1.1 Inleiding

De Nederlandse glastuinbouwsector is grootverbruiker van fossiele energie, met name aardgas voor het verwarmen van kassen. Energie is een belangrijke en onmisbare productiefactor in de glastuinbouw, maar het grootschalige gebruik zorgt ook voor een aanzienlijke milieubelasting. De glastuinbouw heeft de ambitie geformuleerd dat in 2020, in nieuw te bouwen kassen, vrijwel energieneutraal geteeld kan worden. Dat dit voor de tuinbouwbedrijven economisch rendabel moet zijn, spreekt voor zich. Om de ambitie te halen moet de totale energiebehoefte van glastuinbouwbedrijven in 2020 geminimaliseerd zijn. Deze ambitie wordt gevoed door:

- Kostprijsontwikkelingen gas
- Twijfels over voorzieningszekerheid
- Imago glastuinbouw
- Noodzaak voor maatregelen voor vermindering CO₂ uitstoot
- Concurrentiepositie Nederlandse glastuinbouwsector t.o.v. het buitenland.

Door de sterk gestegen prijzen is energie het afgelopen jaar een grote, en in vergelijking met een aantal jaren geleden, zeer belangrijke kostenpost geworden. Glastuinders zijn hierdoor sterker gemotiveerd energiebesparende maatregelen te treffen. De teelt van de meeste potplanten (maar ook van andere glastuinbouwgewassen) kan veel energiezuiniger als er een accentverschuiving zou optreden van temperatuur naar luchtvochtigheid, CO₂ en licht, maar vooral naar een gecombineerde aanpak. Door alle groeifactoren optimaal te houden kan er drastisch bespaard worden.

Binnen de regelingen van temperatuur, licht, CO₂ en luchtvochtigheid wordt nog veel met (vaste) setpoints gewerkt. De registratie van reacties van planten op veranderingen in de omgevingscondities berust veelal op (visuele) waarnemingen en op ervaringen, die achteraf geconstateerd zijn. In de teelt van potplanten is de afgelopen jaren onderzoek uitgevoerd en ervaring opgedaan met het regelen van deze teeltfactoren mede op basis van gewasreacties. Naast ruimtetemperatuur, luchtvochtigheid, CO₂ en (PAR-)licht worden metingen verricht aan de plant; temperatuur (IR-camera) en de mate waarin het licht wordt gebruikt voor de fotosynthese (plantivity). Met deze manier van meten (en regelen) wordt snel inzicht verkregen bij welke licht-, CO₂- en planttemperatuurniveaus optimale groei wordt verkregen en waar de grenswaarden liggen van enerzijds een acceptabele groei en ontwikkelingen anderzijds om te komen tot energiebesparing. Hierdoor kan temperatuur, licht, vocht en CO₂ efficiënter ingezet worden. Ook kan veel beter en sneller ingespeeld worden op vernieuwende teeltontwikkelingen zoals onder andere (drie)dubbele schermen, luchtbevochtiging, intensievere belichting en semigesloten teelt in relatie tot energieverbruik. Via de gewasmetingen, de berekeningen en de interpretaties ervan zijn de effecten immers direct zichtbaar.

Dit project richt zich op het ontwikkelen en toetsen van klimaatmonitoring. De verwachting is dat met dit vernieuwde systeem de teeltfactoren temperatuur, CO₂, licht en luchtvochtigheid op basis van gewasreacties (zoals o.a. fotosynthese) op de juiste manier

ingezet kunnen worden om zodoende een belangrijke bijdrage te leveren aan de doelstelling energieneutraal te telen.

1.2 Doelstelling

In dit project worden (plant)sensoren en vernieuwde berekeningen gecombineerd om daar meettemperatuur, CO₂ en licht efficiënter in te zetten. Het huidige GrowSense concept (Verberkt et al. 2010) wordt uitgebreid met een nauwkeurige module voor de VPD (dampdrukverschil tussen blad en lucht) -afhankelijkheid van de fotosynthese, in relatie tot temperatuur, licht en CO₂. Uit eerder onderzoek van Plant Dynamics is het grote belang van de VPD-afhankelijkheid gebleken. Tevens is het duidelijk geworden dat het rendement van de fotosynthese van potplanten nog sterk verbeterd kan worden door bij hogere lichtintensiteiten te telen (Plant Dynamics 2010). Softsensoren die de reacties van de huidmondjes voorspellen (zie fase 2, fotosynthesemodel) geven inzicht in de optimalisatie van licht en VPD. Het GrowSense 2 concept is bedoeld als een instrument voor de teler om beter inzicht te krijgen in teeltoptimalisatie en energiebesparingsmogelijkheden.

Om dit doel te bereiken is het van belang om beter inzicht te krijgen in plantreacties, deze zijn zeer complex. In dit project worden er verbanden gelegd tussen energiebesparing, klimaat (en de grenswaarden daarvan), de mate van (licht)belasting die het gewas kan verdragen en de daarbij behorende productie. Door de achtergrondkennis, inzichten rond verdamping en dergelijke die dit project oplevert en de mogelijkheid die het biedt om een handig instrument te maken kan een teler gerichter werken aan de doelstelling om met minder energie hetzelfde of zelfs een beter resultaat te bereiken.

Technische doelstellingen

Ontwikkelen van een klimaatmonitorsysteem GrowSense 2 waarbij de teelfactoren temperatuur, CO₂, licht en VPD op basis van gewasreacties (onder andere fotosynthese) verder geoptimaliseerd worden om zodoende een belangrijke bijdrage te leveren aan de doelstelling energiebesparend te telen.

Binnen het energieprogramma moet 40% energie bespaard worden. Telers moeten gerichter keuzes gaan maken in hun teeltsturing. Een belangrijke bijdrage om energie te besparen is om de warmtebehoefte terug te dringen. Dit kan door meer gebruik te maken van de natuurlijke licht- en warmtebron (zon). Juist door de gewasreacties te kunnen meten kan het gebruik hiervan verder geoptimaliseerd worden. Dit geldt zeker ook voor de toepassing van assimilatiebelichting. In de beoogde gewassen binnen dit project wordt ook veel gebruik gemaakt van assimilatiebelichting. Enerzijds zijn de belichtingniveaus de laatste jaren verhoogd en anderzijds de belichtingsduur. Door direct de lichtbenutting (aandeel licht dat voor de fotosynthese gebruikt wordt) te kunnen meten, kunnen beter gefundeerde keuzes gemaakt worden met betrekking tot al dan niet belichten en kan op de juiste momenten energie bespaard worden door de belichting uit te schakelen bij een lage lichtbenutting.

Optimale benutting van warmte en licht betekent bewuster met energie omgaan, d.w.z. zoveel mogelijk toepassing van zonne-energie, belichting, koeling, beluchting etc. alleen inzetten als de plant er iets mee kan doen. Ook bij het aansturen van energiebesparende maatregelen als dubbele energieschermen of koude/warmte buffers kan GrowSense 2 als technisch instrument dienen om deze zo efficiënt mogelijk in te zetten. GrowSense 2 kan

ook als tool dienen technieken zoals temperatuurintegratie en lichtoptimalisatie beter in te passen in de teelt.

Energiedoelstellingen

Het onderzoek heeft deels een directe bijdrage aan de energiedoelstelling, maar is ook faciliterend aan de energiedoelstelling.

De reductie van het primaire energieverbruik is een gevolg van een reductie van een afname in gasverbruik en in het elektriciteitsverbruik. Dit leidt mede tot een reductie van uitstoot van CO₂. Door de temperatuur en daarmee het stookgedrag beter af te stemmen op de fotosynthese zal direct het gasverbruik verminderd kunnen worden. Ditzelfde geldt voor de belichting, CO₂ en vocht. In situaties dat bijvoorbeeld de lichtbenutting gering is kan beter besloten worden om de assimilatiebelichting uit te zetten. Verwacht mag worden dat naast een verlaging van het primaire energieverbruik ook de productie toeneemt. Er wordt immers geregeld op basis van o.a. de fotosynthese.

Doelgroepen zijn alle potplantentelers in Nederland, maar door het gericht meten en regelen op gewasreacties binnen dit systeem is het breed inpasbaar voor uiteindelijk de gehele glastuinbouw. Het areaal potplanten in Nederland betreft circa 1377ha. Het gemiddelde energieverbruik per m² op jaarbasis in de teelt van bloeiende potplanten is ongeveer 35 m³ en bij groene potplanten 40–45 m³. Daarnaast zijn er nog een aantal teelten met een lager energieverbruik van circa 20–30 m². Er wordt een productieverhoging verwacht van 10% door verhoging van de fotosynthese en het efficiënter inzetten van de productiefactoren met dezelfde hoeveelheid energie.

In de teelt van potplanten worden diverse teeltfasen onderscheiden met een verschillende warmte- en lichtbehoefte. Echter in de potplantenteelt worden veelal meerdere fasen in een afdeling geteeld. Met het oog op verdere mogelijkheden van energiebesparen zou verdere compartimentering per teeltfasen een grote bijdrage hieraan kunnen leveren. Door de gewasbehoefte middels GrowSense 2 nader in kaart te brengen kan dit de overstap naar meer fase-geteeld produceren benadrukken.

Indien uitgegaan wordt van een vergelijkbaar productieniveau, waar op de bedrijven door verdere compartimentering meer in fase geteeld kan worden en verbeterde sturing van het vocht kan de energiebesparing in de potplantenteelt verder oplopen van 10% naar 25 tot max. 40%. De potentiële energiebesparing, uitgaande van 10 m³/m² (25%) op 1377 ha, is dan: 1377 ha x 10 m³/m² x 10⁴ m²/ha = 137.700.000 m³ per jaar.

Nevendoelstellingen

Wat kan het vernieuwde GrowSense 2 concept voor de bedrijfsvoering en energieneutraal betekenen:

- Een attenderingssysteem dat bijvoorbeeld aangeeft dat de lichtbenutting van het gewas langdurig veel lager blijft dan verwacht mag worden op basis van de gemeten kasklimaat condities. Dit kan onder andere het gevolg zijn van gesloten huidmondjes of gebruik van gewasbeschermingmiddelen.
- Een optimaliseringinstrument wat de mogelijkheid biedt om de teeltfactoren temperatuur, licht, CO₂ en VPD binnen een etmaal aan de plant aan te passen, de productiviteit te verhogen en energie te besparen. Vragen als: Wat is de temperatuurbehoefte en gewenste VPD? Hoe varieert de lichtbehoefte over de dag?

Wanneer is CO₂ doseren nodig en hoeveel? Is de huidmondjes geleidbaarheid hoog of laag? kunnen hiermee beantwoord worden.

- Een leerproces. Met de data kunnen vergelijkingen worden gemaakt tussen verschillende klimaatcondities, scenario's en plantreacties.

Binnen het GrowSense 1 concept (Verberkt et al. 2010) is een aanzet gemaakt tot een methode om grenswaarden vast te stellen voor temperaturen in de kas, in interactie met RV, lichtintensiteit en CO₂, ter bewaking van de teelt en als aanzet om met minder energie te produceren. De objectieve continue registratie van de plantvitaliteit door middel van plantsensoren maakt het voor de teler mogelijk om de grenswaarden op te zoeken. Hij kan zelf waarnemen of een combinatie van factoren voor zijn gewas gunstig uitpakt of niet en dat is tevens de enige basis voor een goed bedrijfsrendement. Het regelen van de teelfactoren op basis van gewasreacties blijkt goede perspectieven te bieden om de groei te optimaliseren en energie te besparen. Het GrowSense concept is gebaseerd op:

- sensorinvoer klimaatomstandigheden
- sensorinvoer plantreactie
- software met fysiologische processen gebaseerd op de sensoren voor het klimaat en de plantreactie.
- softsensoren die het proces vertalen naar (droge stof) productie
- softsensoren die een maat aangeven voor stress
- software die de grenzen laat zien voor de langere termijn gebaseerd op groei- en ontwikkelingsaspecten

Het huidige GrowSense concept (potplanten) voorziet met een aantal gewasspecifieke eigenschappen in een 'softsensor' die informatie geeft over de groeicapaciteit van het gewas en aanvullend werkt op de metingen aan de omgevingsfactoren.

Binnen het GrowSense-onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen sensoren en softsensoren. Een sensor is het instrument met de daarbij behorende software die fysische meetwaarden van het instrument meet en doorstuurt naar de PC van de gebruiker. De softsensor is een combinatie van een sensor en software die fysische waarden van de sensor omzet in meetwaarden die voor de eindgebruiker een betekenis hebben, bijvoorbeeld "productiesnelheid" of "stress-index". Dit betekent soms dat een eenvoudige omrekening verricht moet worden. Voor GrowSense 2 is de omrekening complex omdat de softsensor invoer vereist van andere metingen in de kas en bovendien in een fysiologische context geplaatst moet worden. Hierbij gaat het binnen GrowSense 2 vooral om de huidmondjesopening en hoe deze wordt beïnvloed door het klimaat. De rol van Plant Dynamics in dit project is het in kaart brengen van de effecten van klimaat (vooral licht, VPD_{blad} en CO₂) op plantreactie (fotosynthese en huidmondjesgedrag) + de 'vertaling' naar softsensoren (fase 1 & 2 van dit onderzoek).

Huidmondjesregulering

Een zeer belangrijke aanvulling in het GrowSense 2 concept is de regulering van de huidmondjes. Het proces van huidmondjes geleidbaarheid en de lichtbenutting in de bladgroenkorrels zijn de basis van de plantvitaliteit. Gewasverdamping is in beperkte mate gekoppeld aan de productie. Als de verdamping hoog is, moeten de huidmondjes wel open staan (beperkte weerstand). Dit betekent dat CO₂ naar binnen kan, wat essentieel is voor de fotosynthese en dus groei (productie). Daarnaast is verdamping belangrijk voor transport van voedingsstoffen. Er is soms ook veel overbodige verdamping. Verdamping

van water door planten is energetisch gezien de grootste kostenpost binnen het totale energieplaatje in de kasteelt. Uit het onderzoek en ervaring van de laatste periode blijkt dat de VPD (VaporPressureDeficit = waterdampdrukverschil) een steeds belangrijkere factor is om te komen tot een optimale fotosynthese. De VPD genoemd in dit projectvoorstel betreft de VPD-blad en niet die van de VPD-kaslucht. Het waterdampdruk deficit (VPD) 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. De VPD ligt normaal tussen de 0.1 kPa (bij hoge luchtvochtigheid) en de 3 kPa (bij lage luchtvochtigheid). Hoe hoger de VPD hoe droger de lucht en hoe meer de plant in principe zal gaan verdampen. De operationele controle van VPD is bij potplanten van uitermate groot belang. Er komen steeds meer aanwijzingen dat de waarde van VPD, die afhangt van bladtemperatuur en RV voor een groot deel bepalend zijn voor de grenzen die aan belichting, schermen, temperatuur en CO₂ dosering gesteld moeten worden (Plant Dynamics).

Kennis uit dit project is van toepassing voor de gehele glastuinbouw. Het onderzoek wordt uitgevoerd bij 3 pilotgewassen die duidelijk verschillen in lichtbehoefte. Er wordt een generiek model GrowSense 2 opgesteld dat breed toegepast kan worden. Middels een aantal gewasspecifieke metingen kan dit model vrij eenvoudig omgezet worden naar een gewasspecifiek model per teelt.

Om te komen tot een voor de praktijk toepasbaar systeem is binnen dit project samengewerkt met partijen uit het bedrijfsleven en toeleveranciers. Voor de modelontwikkeling en fotosynthesemetingen is dit Plant Dynamics, voor hardware en software ondersteuning is dit GrowTechnology. De betrokken praktijkbedrijven zijn: Rijnplant (Anthurium), Strijbis Verbeek (Kalanchoë) en Van der Voort (Spathiphyllum). DLV Plant was verantwoordelijk voor de gewasregistratie, begeleiding en projectleiding.

1.3 Werkzaamheden, werkwijze(n)

In dit project wordt vernieuwde sensor technologie en softsensoren gecombineerd om op basis daarvan warmte/koeling, vocht, CO₂ en licht efficiënter in te zetten. Er wordt een overzichtelijke methode ontwikkeld, waarbij de teler gemakkelijk verbanden kan leggen tussen klimaat (en de grenswaarden) en de mate van (licht)benutting van het gewas en daarmee de productie.

Het onderzoek is uitgevoerd door DLV Plant in samenwerking met de desbetreffende landelijke gewascommissie van LTO Groeiservice, GrowTechnology en Plant Dynamics BV. Voor het project is een BCO samengesteld uit de opdrachtgevers en telers van de deelnemende bedrijven. Deze koppelen de informatie ook weer terug naar de desbetreffende gewascommissies. Daarnaast heeft de gewasmanager Potplanten vanuit LTO Groeiservice zitting in de BCO. De uitvoering van het project is in nauwe samenspraak met de BCO uitgevoerd.

Het onderzoek bestaat uit 4 fasen:

1. Uitvoeren specifieke gewasmetingen aan de pilotgewassen per teeltfase
2. Kennis en opgestelde functies integreren in het huidige GrowSense concept:
GrowSense 2

3. Toetsing GrowSense 2 concept in de praktijk.
4. Opstellen praktisch groei- en energie monitoringssysteem: GrowSense 2

Fase 1: Uitvoeren specifieke gewasmetingen aan de pilotgewassen (Plant Dynamics B.V.).

Er zijn diverse metingen uitgevoerd onder diverse omstandigheden en teeltfasen aan een drietal pilotgewassen. Dit zijn: Kalanchoë, Spathiphyllum en Potanthurium. Dit is gedaan met een mobiel fotosynthese meetsysteem (Li-cor 6400), waarmee direct via CO₂-opname en de verdamping van het gewas een goed beeld verkregen wordt van de productiviteit en hoe de plant reageert op veranderingen van licht, CO₂, temperatuur en luchtvochtigheid. Speciale aandacht is er voor de reactie op verschillend VPD-blad (verschil in dampdruk tussen het blad en de lucht) op de huidmondjes. De fotosynthesemetingen zijn onder verschillende klimaatomstandigheden uitgevoerd.

Uit deze metingen, aangevuld met kennis uit diverse onderzoeken, zijn vergelijkingen gedestilleerd die de huidmondjes geleidbaarheid beschrijven als functie van de VPD. In de GrowSense benadering wordt de geleidbaarheid uitgerekend als functie van het dampdruk deficit van het VPD-blad (kPa). Verder zijn diverse teeltfactoren (o.a. CO₂), maar ook andere van belangzijnde plantfysiologische processen zoals de huidmondjes geleidbaarheid in het donker, de mate van abiotische stress, CO₂-compensatie punt hierbij betrokken. De vergelijking is een eerste benadering waarbij temperatuureffecten zijn verdisconteerd in de VPD. Vanuit deze kennis kan de verdamping van het blad worden berekend. In een kas is de huidmondjesweerstand in de meeste gevallen de limiterende factor voor verdamping met uitzondering van een "dood" klimaat waarbij de grenslaag weerstand tussen gewas en omringende kaslucht een rol van betekenis gaat spelen.

Fase 2: Kennis en opgestelde functies integreren in het huidige GrowSense concept: GrowSense 2(Plant Dynamics B.V. en GrowTechnology).

De gewasspecifieke parameters bepaald in fase 1 zijn geïntegreerd in een specifiek model m.b.t. (geavanceerde) assimilatie van de pilotgewassen. Het huidige GrowSense concept is uitgebreid met een on-line bepaling van de grenswaarden van VPD in afhankelijkheid van de andere actuele of nog te realiseren omgevingscondities temperatuur, licht en CO₂. Tevens is de on-line bepaling van plantstress aanzienlijk verbeterd. Hiermee is een overzichtelijke methode ontwikkeld waarbij de teler gemakkelijk verbanden kan leggen tussen klimaat (en de grenswaarden) en de mate van (licht)belasting van het gewas en daarmee de productie.

Fase 3: Toetsing GrowSense 2 concept(DLV-plant).

Het aangepaste concept (GrowSense 2) is per teeltfase op 3 representatieve bedrijven getoetst onder diverse seizoen- en teeltomstandigheden. Het model is geëvalueerd onder praktijkomstandigheden met bestaande rassen en de gemeten klimaatfactoren als invoer. Aan de hand van praktijkgegevens is het model op zijn waarde worden getoetst.

Naast het vastleggen van diverse groei- en kwaliteitsaspecten m.b.t. het gewas is ook de energie-efficiëntie en het energieverbruik betrokken. Daarnaast zijn continu 'on-line' grenswaarden vastgesteld voor de diverse teeltfactoren als kastemperatuur in interactie met VPD, RV, lichtintensiteit en CO₂, ter bewaking van de teelt en de mate van energieverbruik. Er zijn diverse toetsingsmomenten in het onderzoek ingebouwd om een duidelijk beeld te krijgen van de teeltstuuringsmogelijkheden en de energiebesparingsmogelijkheden.

Fase 4: Opstellen praktisch groei- en energie monitoringssysteem: GrowSense 2 (DLV-plant).

Na verwerking en interpretatie van de onderzoekgegevens is het vernieuwde concept verfijnd en omgezet in een praktisch groei- en energie monitoringssysteem. Met het model kunnen de gewaseigenschappen worden geëvalueerd tegen achtergronden van allerlei (reëel gemeten of virtuele) teeltscenario's.

1.4 Kennisoverdracht

Veel telers zijn op zoek naar mogelijkheden om het energieverbruik te reduceren. Bij de huidige energieprijzen is optimalisatie van de teeltfactoren in relatie tot energie voor alle telers van potplanten interessant. Kennisoverdracht over dit onderwerp is dan ook een belangrijk aandachtspunt in het project. Telers zijn zich goed bewust van het nut en de noodzaak van energiebesparing. De communicatiestrategie van het project richt zich dan ook naast bewustwording op het bekend maken van de mogelijkheden van energiebesparing en het vergroten van achtergrondkennis over de rol van de diverse teeltfactoren op de groeiprocessen en de economische voordelen daarvan. Nadrukkelijk is bij alle andere vormen van kennisoverdracht ingegaan op de gegenereerde achtergrondkennis, plantenfysiologie en de interactie tussen de diverse teeltfactoren op de gewasgroei en –ontwikkeling in relatie tot energie, inzichten rond verdamping e.d. die dit project opleveren. Effecten op energie zijn hierbij ook aan de orde gekomen.

De manier waarop telers informatie zoeken verschilt sterk. Omdat dit project relevant is voor vrijwel alle (potplanten) telers is een mix van communicatieactiviteiten uitgevoerd en diverse media benut zodat alle telers kennis kunnen nemen van de resultaten van het project. Energiebesparing kan rekenen op een breed draagvlak bij diverse bedrijven en organisaties in de glastuinbouw.

Belangrijk in dit project is dat telers de resultaten ook zelf kunnen zien om vertrouwen te krijgen in het GrowSense 2 concept. De deelnemende bedrijven zijn gevestigd in de belangrijke productieregio's voor potplanten. De bedrijven kunnen on-line de gegevens van hun bedrijf inzien middels de bijgeleverde software. Regelmatig vindt terugkoppeling plaats met onderzoekers en adviseurs m.b.t. de gegevens. Op de deelnemende bedrijven zijn excursies georganiseerd voor telers en toeleveranciers: totaal 4 excursies per bedrijf (4 x 3 = 12 excursies). De excursies zijn georganiseerd in overleg met de landelijke commissies van de diverse potplantencommissies van LTO Groeiservice. Naast de gewascommissies van de pilotgewassen zijn nadrukkelijk ook excursies opengesteld voor andere gewasgroepen. Tijdens de excursies kwamen de resultaten uit het onderzoek aan de orde.

Via massacommunicatiemiddelen krijgen telers de kans om zich regelmatig op de hoogte te stellen van de vorderingen en de resultaten. Via de vakbladen 'Onder glas' en 'Vakblad voor de Bloemisterij' zijn/worden ook alle telers geïnformeerd over het project. In een serie artikelen worden de ervaringen en resultaten van de deelnemende bedrijven onder de loupe genomen. DLV Plant schrijft in samenwerking met Plant Dynamics en GrowTechnology regelmatig korte actuele artikelen voor de diverse nieuwsbrieven van LTO Groeiservice. Deze artikelen zijn ook opgenomen in de digitale Groeiflits van LTO Groeiservice en Energiek2020.nu. Op deze wijze komt de informatie via diverse kanalen

terecht bij de hele doelgroep. Laagdrempelig via vakbladen en intermediairs en met meer diepgang voor telers die excursies bezoeken via de website www.Energiek2020.nu

1.5 Leeswijzer

In dit project zijn veel zaken aan de orde geweest van theoretische modelverbetering tot softwarematige aanpassingen, van groeimonitoring in de praktijk tot het opstellen van een praktisch monitoringssysteem: GrowSense 2. Om dit verslag leesbaar te houden zijn veel gemeten zaken opgenomen in bijlagen. In hoofdstuk 2 staat uitgelegd hoe de online stressdetectie is verbeterd. In hoofdstuk 3 is het vernieuwde GrowSense 2 concept getoetst aan de hand van groeimetingen in de praktijk. Deze groeimetingen zelf zijn opgenomen in bijlage 14. In hoofdstuk 4 is er een praktisch monitoringssysteem opgesteld. Hoofdstuk 5 laat wat voorbeelden zien hoe er op basis van het monitoringssysteem energie bespaard kan worden. Hoofdstuk 6 sluit af met conclusies en aanbevelingen. In de bijlagen zijn relevante zaken met betrekking tot dit project opgenomen zoals informatie over de GrowWatch (bijlagen 7-9), voorbeelden van de parametrisatie (bijlage 10) en de gewasregistratie (bijlage 12, 13).

2. Uitbreiding stressdetectie GrowSense 2

De uitwerking van de energiebalans van het fotosynthese-apparaat voor PAR heeft de volgende praktische uitwerking gekregen:

PAR-licht dat door de plant geabsorbeerd wordt door het fotosyntheseapparaat, kan opgedeeld worden in drie delen:

- Licht benut voor de fotosynthese
- Licht dat niet kan worden verwerkt maar veilig afgevoerd wordt
- Licht in overmaat dat schade aan het fotosyntheseapparaat veroorzaakt (niet zichtbaar met het blote oog)

In overeenstemming met deze verdeling kan in de uitvoer van de Plantivity een vlakengrafiek gemaakt worden die in een oogopslag zichtbaar maakt hoe het geabsorbeerde PAR-licht verdeeld wordt over deze factoren:

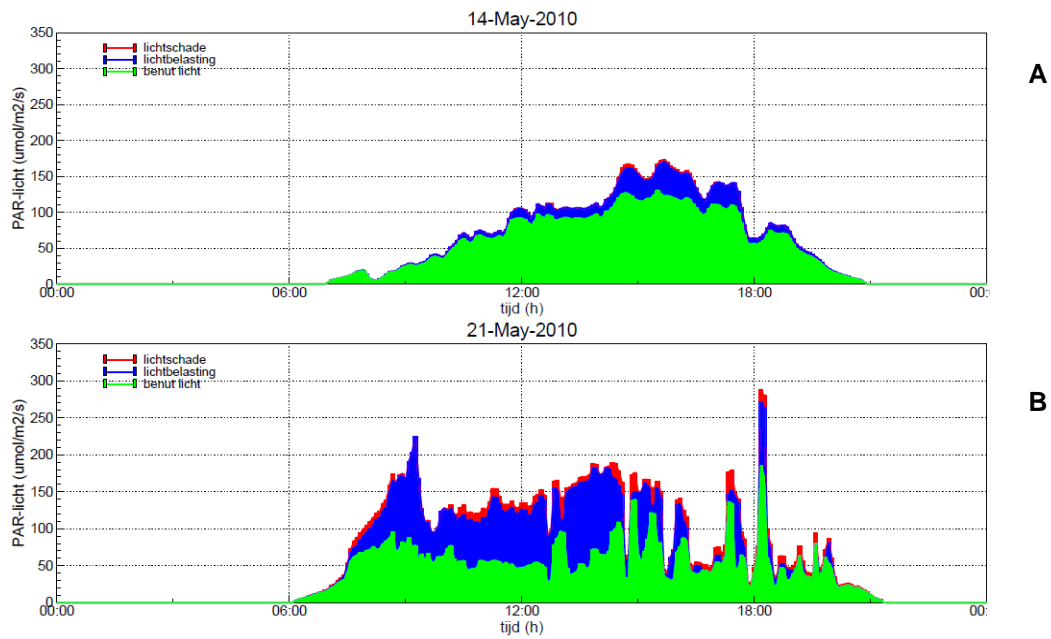
- Benut Licht (groen vlak)
- Lichtbelasting (blauw vlak)
- Lichtschade (rood vlak)

In figuur 2A is het dagverloop van de verdeling in PAR-licht in beeld gebracht. Een plant werkt heel efficiënt onder lage lichtintensiteit. Dit levert in de vroege ochtend (7.00-10.00 uur) een volledig groen oppervlak op. Naarmate de lichtintensiteit gaat toenemen, daalt het rendement waarmee de plant het licht kan gebruiken voor de fotosynthese en zal de plant overtollig licht moeten afvoeren: er ontstaat een blauw oppervlak bovenop het groene vlak (vanaf 10.00 uur). In eerste instantie kan de plant het overschot aan licht op een veilige manier afvoeren (tot ongeveer 15.00 uur). Als de plant hier niet meer in slaagt kan er schade ontstaan: een rood vlak wordt zichtbaar (15.00-17.00 uur). Na 17.00 uur daalt het lichtniveau en verdwijnt het rode vlak.

Als gedurende de dag de verdeling PAR-licht alleen maar een groen vlak geeft, betekent dit dat de plant meer licht aan kan. Er is dan te zwaar geschermd of het was een dag met weinig licht. Een optimale verdeling tussen het groene en blauwe vlak ligt tussen de 80%-20% tot 90%-10%. Een heel klein beetje rood is niet direct een probleem zolang de plant zich in de nacht kan herstellen.

In figuur 2B wordt een voorbeeld getoond van een verre van ideale verdeling in PAR-licht. Het blauwe vlak is namelijk groter dan het groene vlak. Het meeste PAR-licht wordt dus niet gebruikt voor de fotosynthese. Dit licht had ook gedeeltelijk weggeschermd kunnen worden. Dit gaat dan niet ten koste van groei (het groene vlak zal dezelfde blijven) maar verminderd stress en de kans op schade. Om schade te voorkomen moet in principe een rood vlak vermeden worden. Het maximaal toelaatbare schadeniveau is echter soortspecifiek. De teler zal daar zelf de grens voor moeten opzoeken. Zie ook bijlage 11 en "Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk" (Plant Dynamics 2011).

Deze benadering is in een periode van 12 maanden getest in de praktijk. Hierbij zijn 3 telers aan de slag gegaan met de metingen, de praktijk koppeling was dan ook sterk. Daarnaast zijn er gewasmetingen uitgevoerd. Deze zijn gebruikt om het model te toetsen.



Figuur 2. Verdeling van geabsorbeerd PAR-licht over benut licht voor de fotosynthese (groen), licht dat door de plant op een veilige manier wordt afgevoerd (blauw) en licht dat shade oplevert (rood). A laat een ideaalplaatje zien, terwijl B een verre van ideaal beeld toont (Plant Dynamics).

3. Resultaten toetsing GrowSense 2 model

3.1 Werkwijze toetsing resultaten

De uiteindelijke controle van het GrowSense 2 model is gedaan op basis van gewaswaarnemingen (Bijlage 13). Uitgangspunt hierbij is de drogestof productie. Bij de gewassen is iedere 2 (Kalanchoë) of 4 weken de drogestof per 10 planten bepaald. De GrowWatch software berekent de assimilatie. Dit is de 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, CO_2 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 m^2 blad (LAI = 1).

Dagsom geavanceerde assimilatie / 10 = Drogestof aanmaak in gram per m^2 blad oppervlak per dag.

Door deze omrekening is bekend hoeveel drogestof er wordt gerealiseerd per vierkante meter blad. Dit getal is vervolgens vermenigvuldigd met een schatting van de LAI (leaf area index). Deze schatting is als absolute waarde berekend. Dit wil zeggen dat de productie berekend op basis van bovenstaande regel bij een LAI van 2 simpelweg is verdubbeld. De maximale LAI is gezet op 2,5. Dit is gedaan omdat het bekend is dat een LAI van 3 ideaal is en zorgt voor een lichtonderschepping van 90%. Boven een LAI van 3 is de toename in lichtonderschepping en fotosynthese minimaal.

Drogestof aanmaak per m^2 bladoppervlak x LAI = Drogestof aanmaak per m^2 teelt oppervlak per dag.

De plantdichtheid van het teeltoppervlak is natuurlijk bepalend voor de groei per plant. Om tot dit cijfer te komen is onderstaande berekening uitgevoerd.

Drogestof aanmaak per m^2 teeltoppervlak / plantdichtheid = Drogestof aanmaak per plant per dag.

Nu is dus bekend hoeveel drogestof er aan is gemaakt per dag per plant. Voor de vergelijking is de drogestof van de plant bepaald van de groene delen. De wortels zijn hierbij dus niet meegenomen. Hierdoor zou de GrowWatch software dus een overschatting maken omdat alle groei wordt toegeschreven aan groene delen. Om dit te corrigeren is er per gewas een factor aangenomen voor deze verdeling.

Drogestof aanmaak per plant x factor boven/-ondergronds = Drogestof aanmaak groene delen per plant per dag.

Deze waarde is gebruikt voor de vergelijking met de werkelijk gemeten drogestof ontwikkeling. Door over de gehele teeltperiode iedere dag deze dagsom te berekenen en bij elkaar op te tellen is het mogelijk de ontwikkeling van drogestof in kaart te brengen. Aandachtspunten bij een berekening over een gehele teelt zijn; het eventueel wijder zetten corrigeren in de plantdichtheid en de LAI schatting aanpassen.

In deze berekeningen zijn een aantal aannames gedaan (LAI, Factor boven/ondergronds). Doel hiervan is dan ook niet “het wetenschappelijk” aantonen in hoeverre de GrowWatch software exact groei monitort, maar of het mogelijk is om met relatief eenvoudige formules de betrouwbaarheid/werking te kunnen aantonen. Deze controle is eventueel ook eenvoudig uit te voeren door de eindgebruiker.

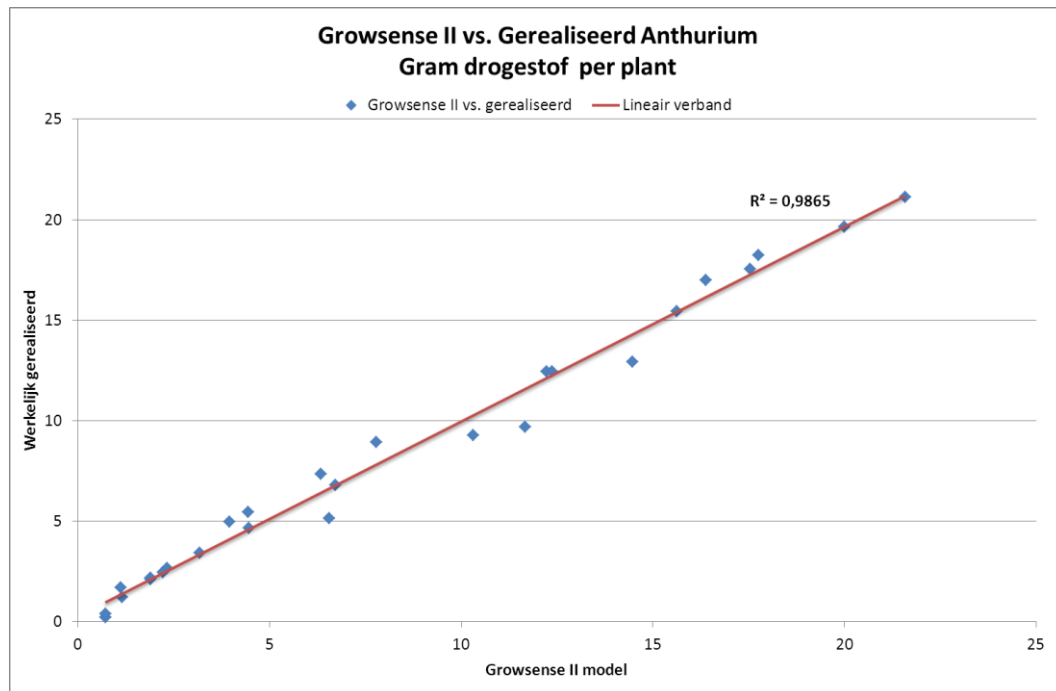
In komende paragrafen wordt per gewas een teelt en een correlatie weergegeven. Er is gekozen om per gewas de opbouw van 1 representatieve teelt weer te geven. Daarnaast is de correlatie (verband) weergegeven over alle teelten van dat gewas in een punten grafiek. Deze correlatie geeft aan in hoeverre het model de werkelijkheid benadert. De perfecte waarde hierbij is een R^2 van 1. Dit betekent dat het model 100% nauwkeurig de werkelijkheid benadert. Echter is dit geen realistische waarde. Een R^2 van 0,95 is uitstekend bruikbaar in de praktijk. Hierbij is het mogelijk om op basis van getal X, met een goede betrouwbaarheid Y te voorspellen. Wanneer de R^2 lager is dan 0,85 kan er gesteld worden dat andere factoren het model verstoren waardoor het model niet/minder bruikbaar is (toepassing afhankelijk). Wanneer de R^2 lager dan 0,6 is betekend dat er totaal geen verband is. Dan is het niet mogelijk om op basis van getal X, Y betrouwbaar te voorspellen.

3.2 Toetsing Anthurium model

Bij Anthurium zijn er in totaal 2 teelten van 2 rassen gevolgd. Bij het ras 'True Love Red' heeft de GrowWatch metingen gedaan. Daarnaast is 'Anthedesia White' gevolgd. De GrowSense 2 meting en de werkelijk gemeten drogestof is weergegeven in figuur 3.



Figuur 3 True love Red teelt 1 werkelijke drogestof en GrowSense 2 model

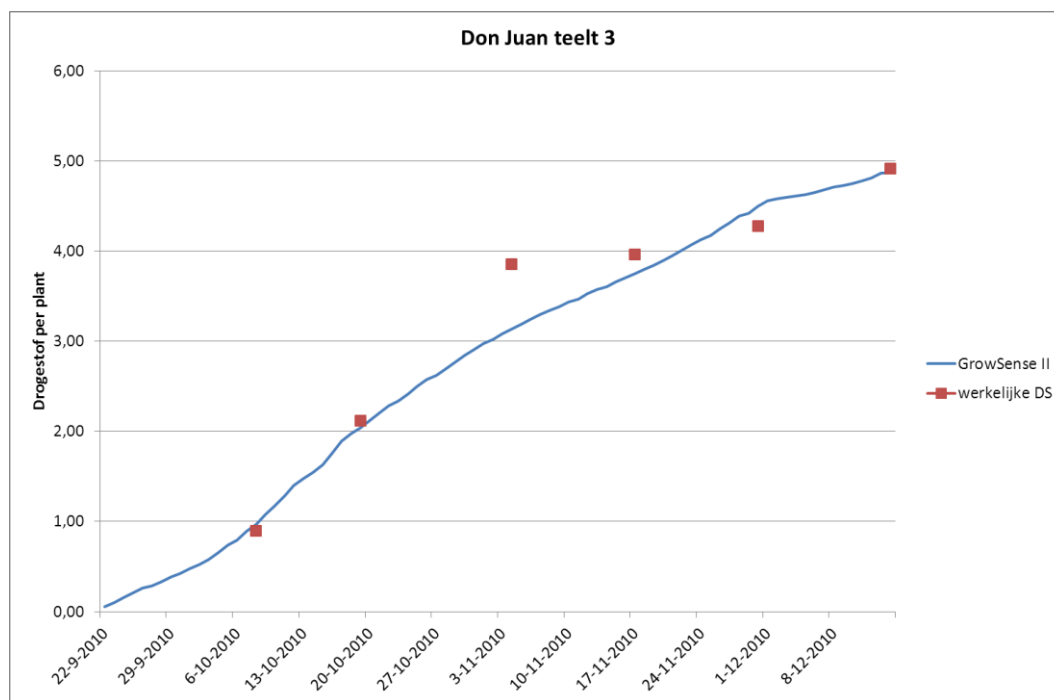


Figuur 4 Correlatie drogestof model en werkelijkheid Anthurium

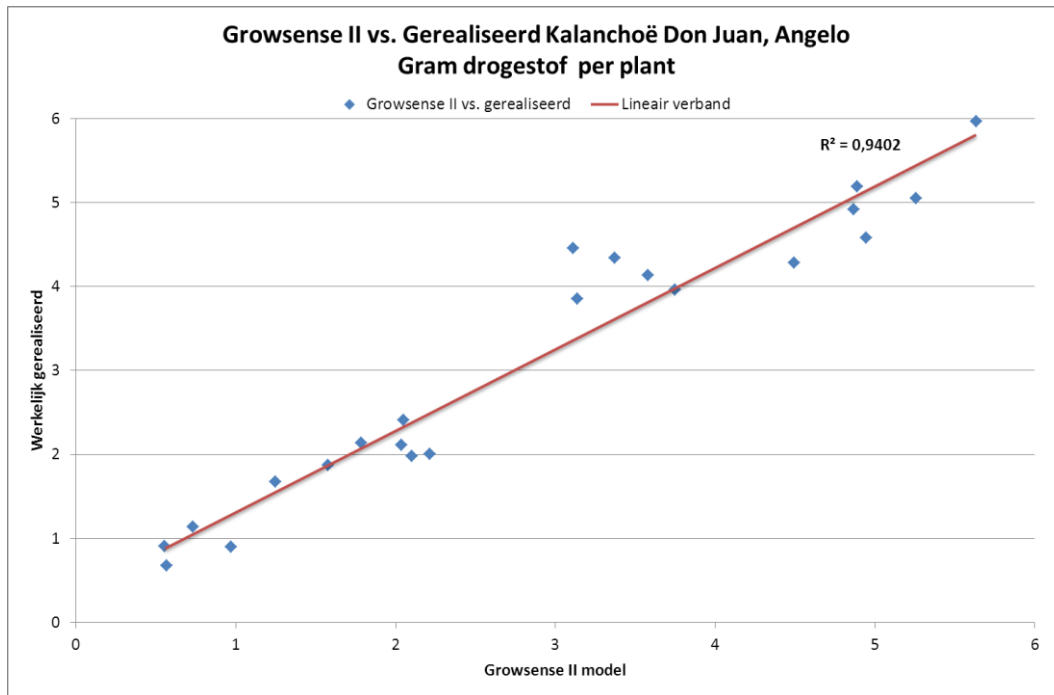
De R^2 is bij Anthurium bijzonder hoog. Hiervoor zijn de gegevens van beide rassen en beide teelten gebruikt. Het model is hierbij een betrouwbare weergave van de werkelijkheid.

3.3 Toetsing Kalanchoë model

De Kalanchoë zijn in het totaal 10 teelten gemonitord. Bij 3x Don Juan en 2x Angelo is een GrowWatch geplaatst. 5 teelten Frederique zijn gevolgd met alleen de gewaswaarnemingen. De GrowSense 2 berekening en de werkelijk gemeten drogestof is weergegeven in figuur 5.

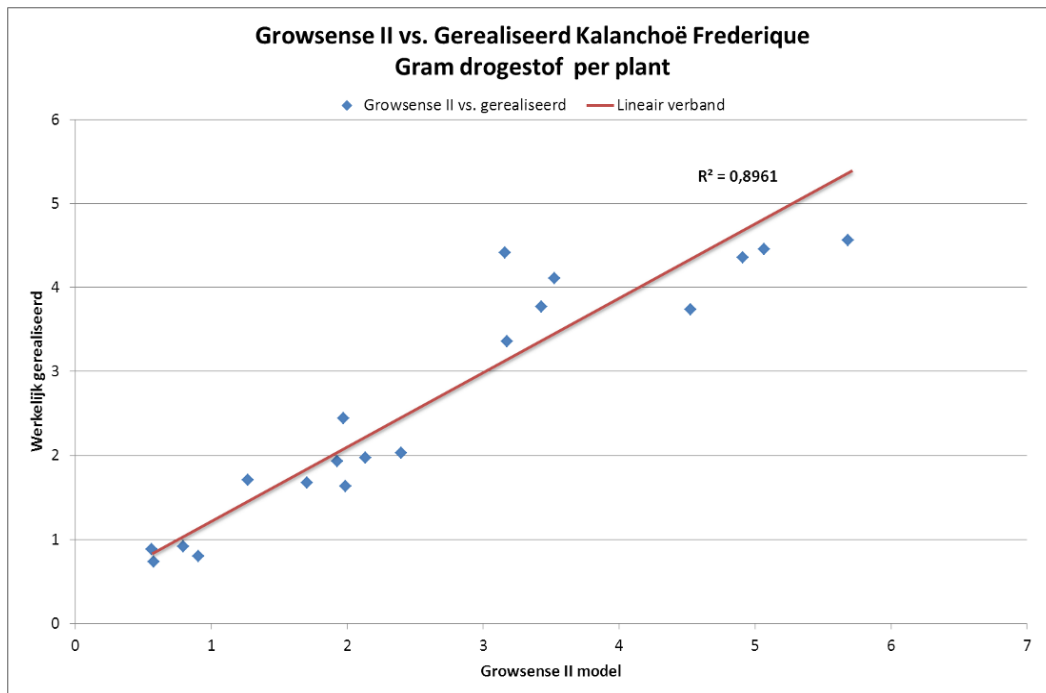


Figuur 5 Don Juan teelt 3 werkelijke drogestof en GrowSense 2 model



Figuur 6 Correlatie drogestof model en werkelijkheid Kalanchoë

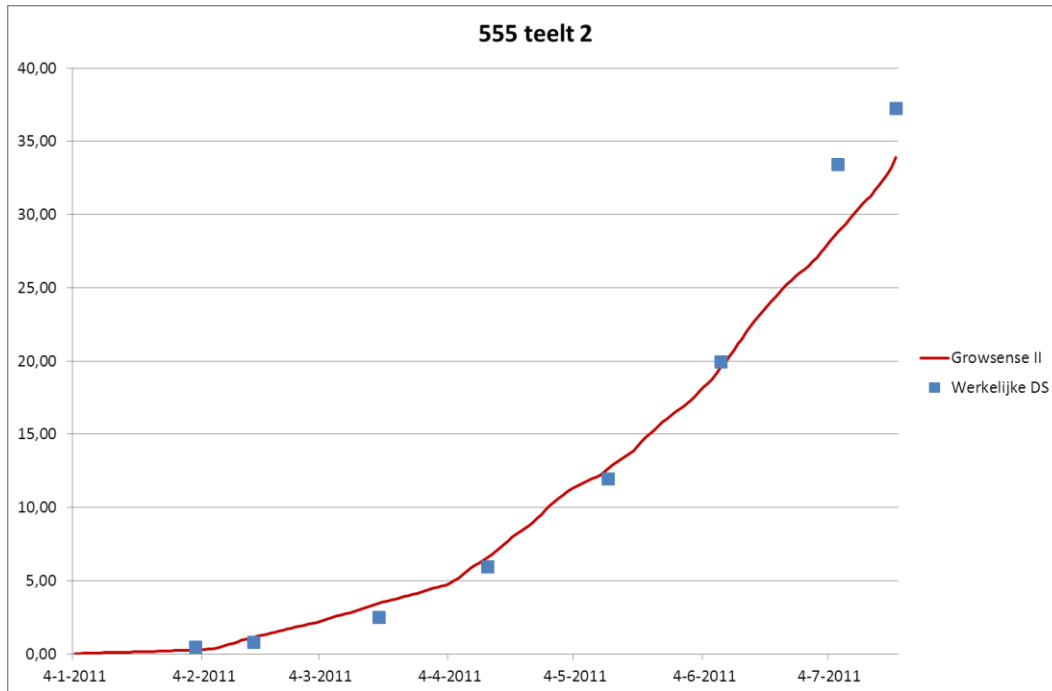
De R^2 bij Kalanchoë is met 0,94 niet perfect. Dit is ook zichtbaar aan de meetpunten die verder van het lineair verband staan. Het GrowSense model blijft met deze R^2 zeker bruikbaar voor de teelt en dagelijkse toepassing. Bij Frederique is deze afwijking groter, echter is aan dit gewas ook niet gemeten (figuur 7). Daarnaast is Frederique een heterogener gewas en was het uitgangsmateriaal van wisselende kwaliteit in de meetperiode. Dit kan het meetbeeld enigszins vertroebelen.



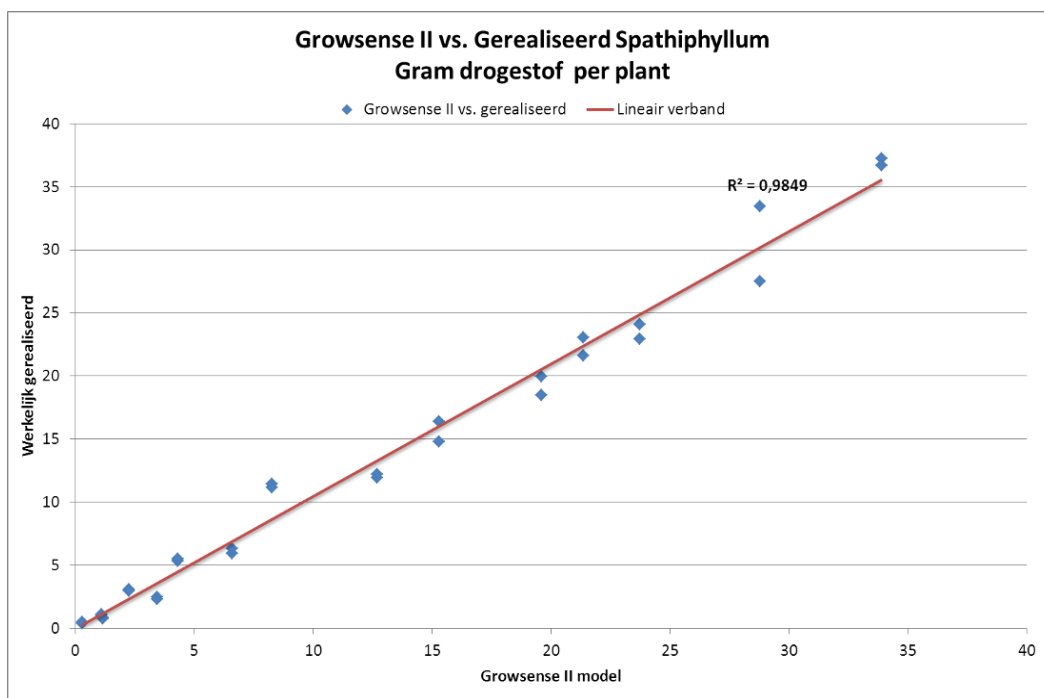
Figuur 7 Correlatie drogestof model en werkelijkheid Kalanchoë

3.4 Toetsing Spathiphyllum

Bij Spathiphyllum zijn er in totaal 2 teelten van 2 rassen gevolgd. Bij het ras '555 (Chopin)' heeft de GrowWatch metingen gedaan. Daarnaast is '2944 (Strauss)' gevolgd. De GrowSense 2 berekening en de werkelijk gemeten drogestof is weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8 555 teelt 2 werkelijke drogestof en GrowSense 2 model



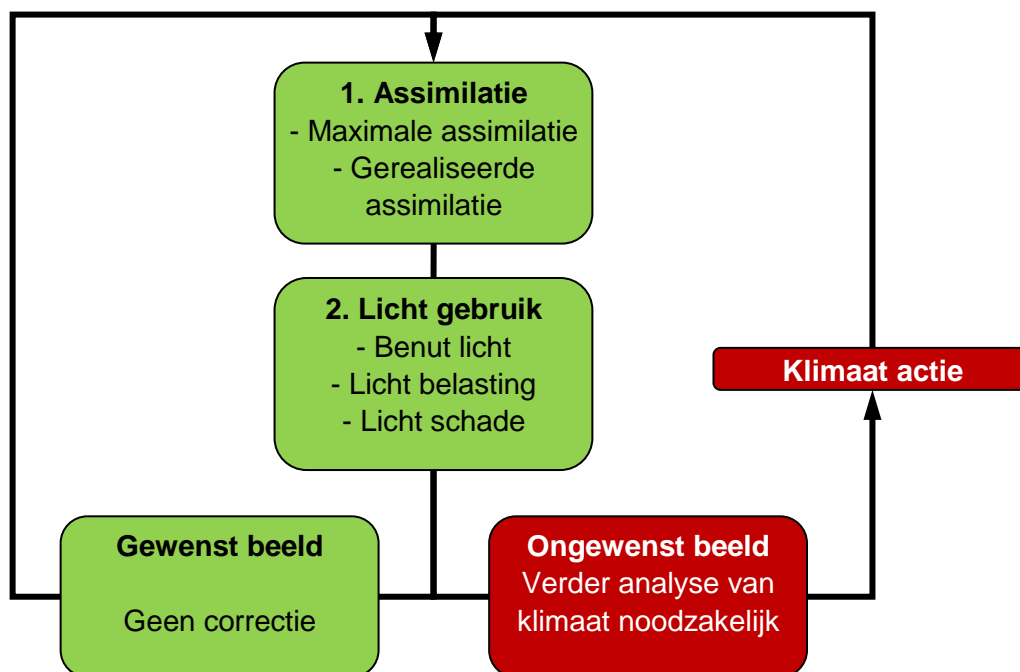
Figuur 9 Correlatie drogestof model en werkelijkheid Spathiphyllum

In bovenstaande figuur is de correlatie weergegeven tussen de werkelijke drogestof metingen en het GrowSense 2 model. Deze correlatie is dermate sterk dat dit een betrouwbare methode is voor gebruik in de praktijk.

4. Praktisch groei en monitoringsysteem

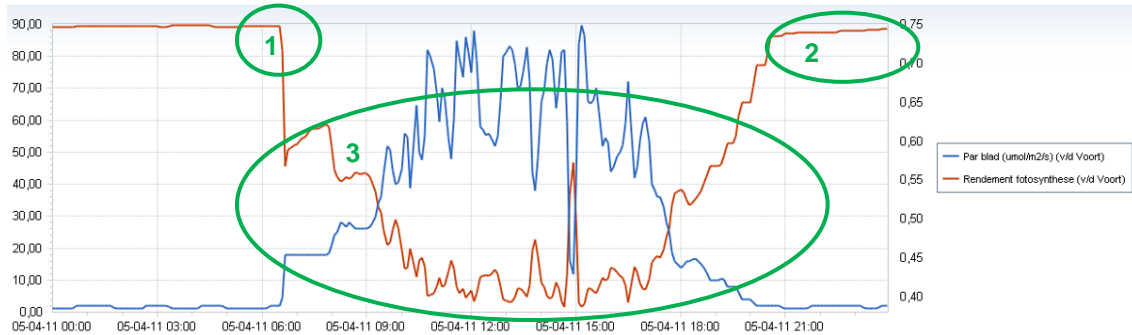
Het GrowSense 2 model is zo ontwikkeld dat op basis van drie grafieken een screening gemaakt kan worden van de actuele groeiomstandigheden. Wanneer deze drie figuren geen vreemde waarden laten zien, is geen verdere actie vereist. Als deze grafieken wel vreemde waarden laten zien, is er aanleiding om verder te zoeken in de datareeks die de GrowWatch verzamelt, en vervolgens tot een klimaatactie (bijv. wel/niet schermen, bevochtigen, CO₂-geven) over te gaan.

De eerste screening betreft de gewasvitaliteit. Deze zal in de praktijk in de ochtend plaats vinden (Figuur 11) Gedurende de dag zal de screening van fotosynthese en het lichtgebruik leidend zijn (Figuur 10).



Figuur 10 Analyse assimilatie en lichtgebruik gedurende de dag voor bepaling van inzet van bijv. schermen.

4.1 Controle Fotosynthese rendement en plantvitaliteit in de morgen

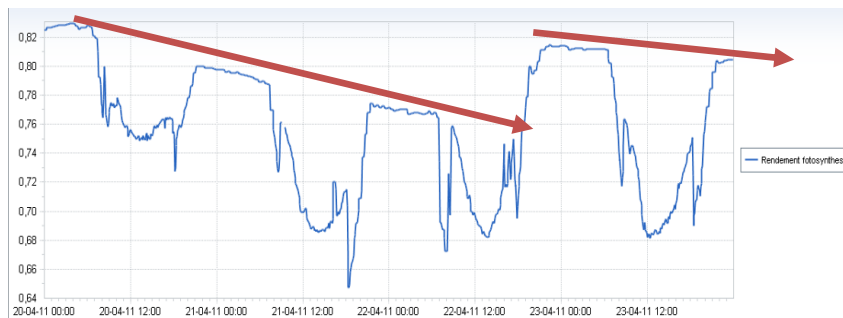


Figuur 11 Fotosynthese rendement (rechter as) en PAR licht (linker as)

In Figuur 11 is het PAR-pam licht (licht op bladniveau) weergegeven en het fotosynthese rendement. Onderstaande punten zijn in de grafiek te herkennen.

1. In de nacht is het rendement van een gezond gewas $\pm 0,75-0,80$. Een gezond gewas zal voor zon op dan ook deze waarde hebben. Wanneer deze waarde niet wordt bereikt is het mogelijk dat het blad is verouderd door het inklemmen in de Plantivity. Het verouderen van het blad is goed zichtbaar in een grafiek waarin het fotosynthese rendement over meerdere dagen zichtbaar is (figuur 12). Het vervangen van het blad is gewasafhankelijk maar 2 keer per week vervangen is voor de meeste gewassen afdoende. In onderstaand figuur is het blad vervangen op 22-04-2011.

Actie: Blad vervangen door een jong volwassen representatief blad. |



Figuur 12 Veroudering van blad zichtbaar in fotosynthese rendement

2. Het rendement herstelt langzaam vanuit de dagperiode. Deze dag is er deels schade ontstaan aan het fotosynthese systeem. Gedurende de voornacht herstelt de plant zich. Om 24:00 uur is de plant al bijna terug op de normale waarde. Dit herstellen geeft aan dat de plant overdag behoorlijk heeft moeten presteren. Belangrijk hierbij is dat de plant volledig hersteld moet zijn voor de volgende ochtend (bij punt 1). Wanneer de volgende ochtend het fotosynthese rendement niet is hersteld, begint het gewas een nieuwe dag met schade. Deze schade zorgt ervoor dat de potentiële groei deze dag lager zal zijn.

Actie: Wanneer in de ochtend voor zon op lager is dan $\pm 0,75$ is het gewas niet volledig hersteld: Deze dag is het gewas dus extra gevoelig voor hoge instraling: Scherm regeling aanpassen.

3. Het rendement gedurende de licht periode wordt indirect ook weergegeven in de grafiek lichtgebruik (Figuur 14). Een laag rendement zal dan zichtbaar worden als lichtschade. Hierdoor is het niet noodzakelijk deze waarde overdag te volgen.

4.2 Maximale en gerealiseerde assimilatie



Figuur 13 Maximale en gerealiseerde fotosynthese, als de gerealiseerde assimilatie veel lager ligt dan de maximale assimilatie dan moet worden ingegrepen met bijv. verneveling en/of CO₂

De maximale assimilatie wordt berekend op het aanbod van het PAR-licht en het fotosyntheserendement. In deze berekening wordt er vanuit gegaan dat CO₂ en VPD niet limiterend zijn. Deze lijn geeft aan wat er gegeven het aanbod PAR-licht maximaal haalbaar is. De geavanceerde assimilatie is de gerealiseerde groei die wordt berekend op grond van de klimaatfactoren in combinatie met gewasspecifieke planteigenschappen. In figuur 13 zijn onderstaande situaties te herkennen.

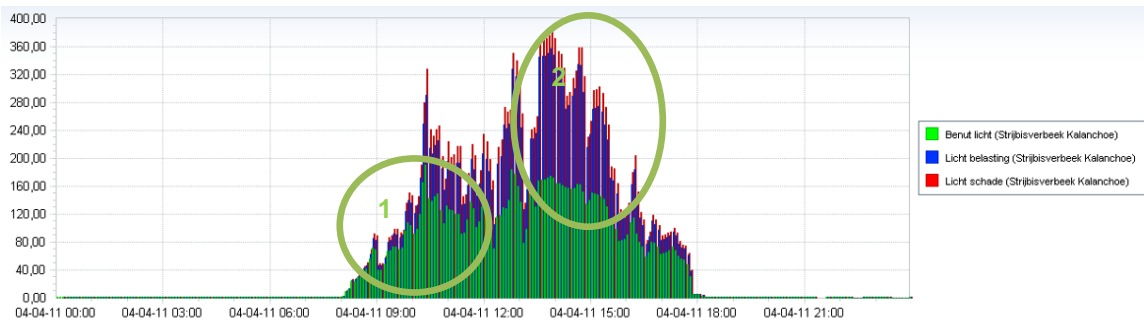
1. De lijn van geavanceerde assimilatie en maximale assimilatie zijn nagenoeg gelijk. Dit betekent dat de klimaatomstandigheden op dit moment nagenoeg ideaal zijn en dat het groeipotentieel voor bijna 100% gerealiseerd wordt.

Geen actie noodzakelijk

2. Op dit moment ontstaat er een duidelijk verschil tussen beide lijnen. Dit wordt veroorzaakt door niet optimale klimaatomstandigheden. Deze afwijking moet men leren benaderen vanuit de actuele klimaat- en teeltomstandigheden. De huidige teeltsituatie heeft beperkingen in het realiseren van klimaat. Het zal dan ook niet mogelijk zijn om het maximale continu te realiseren. Met deze wetenschap is het belangrijk dat factoren die wel beheersbaar zijn geoptimaliseerd worden. Naar mate men meer ervaring krijgt met deze meting zal het mogelijk worden om de gerealiseerde groei in een goede context te plaatsen en waar nodig te optimaliseren.

Actie: Klimaat aanpassing, optimalisatie van CO₂ en/of VPD noodzakelijk.

4.3 Lichtgebruik



Figuur 14 Gebruik van het aangeboden licht door het gewas

In de grafiek van het lichtgebruik zijn 3 vlakken weergegeven;

- Benut licht dat benut wordt voor de fotosynthese (groen);
- Lichtbelasting (overmaat) dat gereguleerd wordt omgezet en afgevoerd (blauw);
- Lichtschade (overmaat) dat niet-gereguleerd wordt omgezet en zo schade kan veroorzaken (rood).

Deze vlakken geven een duidelijk beeld van hoe de plant actueel met het licht omgaat. De eenheid van deze gegevens is het licht in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Deze meting is gewasonafhankelijk en kan dus op alle gewassen probleemloos worden toegepast. Aandachtspunt hierbij is dat benut licht niet kan worden omgerekend naar gram drogestof aanmaak, hiervoor zijn gewasspecifieke parameters nodig (zie 4.2). Toch geeft benut licht wel een goede afspiegeling weer van de effectiviteit van de fotosynthese.

Aan de hand van bovenstaande grafiek zijn de volgende situaties zichtbaar.

1. Het gewas presteert goed. Veel van het licht wordt gebruikt voor de fotosynthese (groen vlak).

Geen actie noodzakelijk

2. In de middag ontstaat er een groot blauw vlak met zelfs een deel rood. Er gaat bijna 50% van het licht naar lichtbelasting, en nog eens 10% naar lichtschade. Slechts 40% van het licht wordt op dit moment benut voor de fotosynthese. Dit wordt veroorzaakt door niet optimale klimaat omstandigheden. Een overmaat aan licht brengt hierbij schade aan het fotosynthese systeem. Dit zal ook zichtbaar zijn in het fotosynthese rendement. Dit daalt waarschijnlijk onder de 0,30.

Actie: Aanpassing scherm strategie

5. Energiebesparing

Energie is een belangrijke speler in de kostprijs van de huidige glastuinbouw. GrowSense 2 kan hierbij een bijdrage leveren door inzichten in plantprocessen. Vragen als: is nu CO₂ doseren zinvol? - Wordt het kunstmatig licht maximaal benut door mijn gewas? - Wanneer schermen en wanneer niet? - kunnen worden beantwoord door het GrowSense model. Energiebesparing en teeltoptimalisatie (meer product per m³ gas) zijn dan ook resultaten van het GrowSense model. Doordat de optimalisatie van teelt ook afhankelijk is van de huidige teeltsituatie is het lastig een referentie te selecteren. Hierdoor is een concrete energiebesparing per jaar niet hard in procenten uit te drukken. Echter is het wel duidelijk dat energiebesparing zeker realiseerbaar is. In komende paragrafen wordt met behulp van het GrowSense model een aantal praktijkcases behandeld. Hieruit komt een energiebesparing die op dat moment gerealiseerd wordt.

De cases worden berekend op basis van assimilatie-eenheden. Het is feitelijk de mate van CO₂ vastlegging per moment. Dit kan omgerekend worden naar werkelijke drogestof aanmaak, maar is in dit geval niet gedaan. Dit heeft 2 redenen:

- Wanneer dit wordt gedaan resulteert dit in drogestof getallen die lastig in een referentiekader geplaatst kunnen worden.
- Inhoudelijk heeft de omrekening geen invloed. Vandaar dat assimilatie-eenheden een bruikbare eenheid zijn om te rekenen.

5.1 Energiescherm

5.1.1 Case 1; Hoe laat moet het scherm open?

Op 4 januari is het schermdoek om 11.00 uur geopend. De vraag die in deze case beantwoordt wordt, is:

Had het scherm energie technisch ook om 10.00 uur geopend kunnen worden?

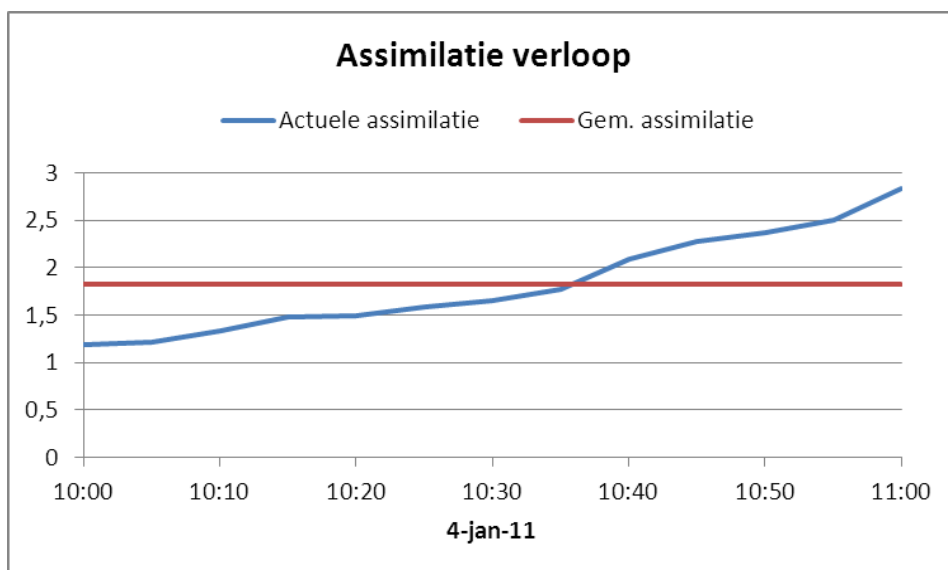
De reden om het schermdoek gesloten te houden is het besparen van energie. Indien het scherm een uur eerder geopend wordt zal dat meer energie kosten om de kas op temperatuur te houden. Maar met het openen van het scherm is er meer licht beschikbaar voor groei. Meer groei zal uiteindelijk resulteren in een beter rendement per energie eenheid. De klimaatgegevens gedurende de ochtend waren als volgt.

Tabel 1 Klimaat gegevens 4 januari 2011

Tijd	straling buiten	Buitemtemperatuur	Assimilatie*
10.00	50 W/m ²	0,7 graden	1,19 groei
11.00	192 W/m ²	1,4 graden	2,83 groei

*= actuele assimilatie

Het GrowSense 2 model heeft in dit uur de assimilatie per 5 minuten berekend (figuur 10).



Figuur 15 assimilatie verloop op 4-jan-2011 10:00-11:00 uur

De gemiddelde assimilatie gedurende dat uur is 1,83 eenheden. Wanneer het scherm gesloten is ontstaat er een licht reductie van 40%. 1,83 eenheden is dus gerealiseerd met 60% van het beschikbare licht. Er hadden $1,83 / 60\% \times 100 = 3,05$ eenheden gerealiseerd kunnen worden op basis van de instraling. Het verlies door het schermen betreft 3,05 eenheden – 1,83 eenheden = 1,22 eenheden dat uur. Dit door het schermdoek gesloten te houden. Over de gehele dag (4-1-2011) is de gemiddelde assimilatie 1,93 eenheden per uur gedurende 10 uur. Dat is 19,3 eenheden (10 uur x 1,93 eenheden er uur) totaal over de gehele dag. Door het scherm gesloten te houden tussen 10.00 uur en 11.00 uur wordt er over de gehele dag gemiddeld 6.3% assimilatie verloren ($1,22/19,3=6,3\%$).

Door de totale groei eenheden per jaar te bepalen en deze af te zetten tegen de werkelijke productie kan de opbrengstprijs per groeieenheid bepaald worden.

Rekenvoorbeeld bedrijf X:

Totaal aantal groei eenheden per jaar is 9000.

Stel totale jaarmzet bedrijf X = € 100,- per m².

Stel gasprijs incl. transport en milieuheffing = € 0,30.

Bovenstaande resulteert in een gemiddelde opbrengst per groeieenheid van 1,11 eurocent ($100/9000=1,11$ eurocent per eenheid).

Door het schermdoek tussen 10.00 uur en 11.00 uur gesloten te houden resulteert in 1,22 eenheden minder groei. Dit is dus $1,22 \times 1,11$ eurocent = 1,35 eurocent per m² ofwel € 135,- per hectare. Wanneer deze € 135,- per hectare wordt afgezet tegen het gas dat daarvoor kan worden ingezet, kom je bij een gasprijs van € 0,30 (incl. transport en milieuheffing e.d.) op 450 m³ gas dat gedurende dat uur verbruikt mag worden om op breakeven te komen.

Breakeven wordt hierbij benaderd vanuit gerealiseerde groei (omzet) versus energie kosten. In de praktijk zal de contractcapaciteit niet zo groot zijn (450 m³), waardoor geconcludeerd kan worden dat energietechnisch rendabeler is het scherm in bovenstaand geval een uur eerder te openen. Er zal dan meer groei gerealiseerd zijn ten opzichte van de energie input.

5.1.2 Case 2; Schermperiode goed gekozen?

Op 4 januari is het scherm gedurende de dag 4 uur open geweest. Dat betekent gedurende 4 uur 40% meer licht (uitgaande van 60% lichtdoorlatendheid).

Gemiddeld over de 4 uur dat het schermdoek geopend is, is de assimilatie 3,44 eenheden per uur. Bij 40% lichtverlies bij schermen is dit 1,38 eenheden verlies aan assimilatie ($3,44 \times 40\% = 1,38$ eenheden per uur). Gedurende 4 uur zijn dit 5,5 eenheden.

Over de gehele dag is de gemiddelde assimilatie 1,93 eenheden per uur gedurende 10 uur licht. Dat is 19,3 eenheden totaal ($1,93 \times 10$ uur). Indien het scherm gesloten was gebleven gedurende de 4uur zou er dus $5,5$ eenheden/ $19,3$ eenheden = 28,5 % minder assimilatie geweest zijn.

Rekenvoorbeeld bedrijf X:

Totaal aantal groei eenheden per jaar is 9000

Stel totale jaaromzet bedrijf x = € 100,- per m²

Stel gasprijs incl. transport en milieuheffing = € 0,30

Bovenstaande resulteert in een gemiddelde opbrengst per groei eenheid van 1,11 eurocent (9000 eenheden/ 100 euro= $1,11$ eurocent per eenheid).

Indien bij gesloten scherm, door lichtverlies 5,5 eenheden minder groei zou zijn, is dit $5,5 \times 1,11$ eurocent = 6,105 eurocent per m² ofwel € 610,- per hectare.

Dat betekent dat er gedurende de vier uur dat het scherm geopend is 2033 m³ gas extra verbruikt mag worden om op breakeven te komen. De hoeveelheid gebruikt gas in deze vier uur was minder. De conclusie is daarom dat het openen van het scherm energie technisch een goede keuze geweest is. De groeiopbrengst door het openen van het schermdoek is groter dan de kosten van het gas.

5.2 Krijten

5.2.1 Anthurium

Er is bij het gewas anthurium gekrijt op d.d. 28 maart 2011. Om een goede vergelijking te kunnen maken zijn de klimaat- en groeigegevens voor het krijten vergeleken met de klimaat- en groeigegevens na het krijten. Hiervoor zijn 10 dagen voor krijten en 10 dagen na krijten gecumuleerd. De gegevens worden weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 Gemiddelde klimaat- en groeigegevens per etmaal voor en na krijten

	Buiten temperatuur (°C)	Straling (watt/ m2)	Gem buis (°C)	Max Buis (°C)	Pomp Aan (%)	Assimilatie groei eenheden	Lichtsom plantniveau (mol/m ²)	Energie	Licht rendement (%)
gem vk	6,8	1276,6	9,4	47,0	21,4	249,5	5,4	201,2	46,6
gem nk	10,2	1151,1	12,9	50,8	18,9	219,9	5,0	243,8	44,4
Vershil%		90	137	108	88	88	92	121	95

Uit de tabel blijkt dat na het krijten de lichtsom op plantniveau 8% lager lag dan voor het krijten. Dit heeft geresulteerd in 12% minder groei. Na het krijten is er 21% meer warmte energie verbruikt dan voor het krijten.

Rekenvoorbeeld bedrijf X:

Totaal aantal groei eenheden per jaar is 59916,5 (juni 2010 - juni 2011)

Stel totale jaaromzet bedrijf x = € 100,- per m²

Bovenstaande resulteert in 0,167 cent omzet per groei-eenheid (100 euro/59916,5 eenheden). Na krijten zijn er gemiddeld 29,6 groei-eenheden minder gerealiseerd per dag. Dat geeft gezamenlijk een omzetverlies per dag van 4,95 cent per m² (29,6 x 0,167 euro) ofwel € 495,- per hectare. Daarnaast zijn er ook nog de kosten van het 21% meer energieverbruik. Het moment van krijten heeft hier dus duidelijk verkeerd uitgepakt.

5.2.2 Kalanchoë

Bij het gewas Kalanchoë is er gekrijt in week 15 2011. Om ook hier een goede vergelijking te kunnen maken zijn er meerdere dagen voor en na het krijten met elkaar vergeleken. De klimaatdata van deze weken worden weergegeven in tabel 3.

Tabel 3 Gemiddelde klimaat- en groeigegevens per etmaal voor en na krijten

	Buiten temperatuur (°C)	Straling (watt/m ²)	Gem buis(°C)	Gasverbruik (m ³ /m ²)	Assimilatie groei eenheden	Lichtsom plantniveau (mol/m ²)	Licht rendeme nt (%)
Week 13	11,1	7813	40,6	1,32	551,9	10,9	50,7
Week 17	15,3	13954	36,8	0,88	398,7	10,6	37,7
Vershil%	137	178	90	66	72	97	74

Uit de tabel blijkt dat ondanks een gelijkblijvende lichtsom op plantniveau de groei met 28% is afgenomen. Dit is te verklaren doordat het VPD na het krijten veel hoger geweest is dan voor het krijten, wat heeft geresulteerd in een veel lagere efficiëntie van het toegelaten licht.

5.2.3 Spathiphyllum

Er is bij het gewas Spathiphyllum de eerste maal gekrijt op d.d. 7 april 2011. Er is voor de tweede maal gekrijt op d.d. 4 mei 2011. De klimaatdata van voor 4 mei (tweede keer krijten) worden vergeleken met de klimaatdata van na 4 mei. Om een goede vergelijking te kunnen maken zijn de klimaat- en groeigegevens voor het krijten vergeleken met de klimaat- en groeigegevens na het krijten. Hiervoor zijn 30 dagen voor krijten en 30 dagen na krijten gecumuleerd. De gegevens worden weergegeven in tabel 4.

Tabel 4 Gemiddelde klimaat- en groeigegevens per etmaal voor en na krijten

	Buiten temperatuur (°C)	Straling (watt/m ²)	Gem buis(°C)	Max Buis (°C)	Gasverbruik (m ³ /m ²)	Assimilatie groei eenheden	Lichtsom plantniveau (mol/m ²)	Licht rendement (%)
gem vk	14,8	1386,6	37,0	65,0	0,09	211,0	3,3	65,0
gem nk	16,2	1437,4	37,1	65,0	0,09	174,2	2,4	71,5
Vershil%	109	104	100	100	101	83	75	110

Uit de tabel blijkt dat na het krijten, de lichtsom op plantniveau 25% lager lag dan voor het krijten. Dit heeft geresulteerd in 17% minder groei. Na het krijten is er 1% meer energie verbruikt dan voor het krijten. Deze geringe toename van het gasverbruik is te verklaren doordat het de tweede krijtlaag was die op 4 mei is aangebracht. De eerste krijtlaag zorgt voor een sterke toename van het energieverbruik. Een tweede keer krijten geeft weinig toename in energieverbruik. Uit de analyse blijkt wel dat licht op plantniveau sterk is gedaald na de tweede keer krijten. Dit is onbewust gebeurd doordat de scherminstellingen niet goed zijn aangepast. Hierdoor is veel groei verloren gegaan.

Rekenvoorbeeld bedrijf X:

Totaal aantal groei eenheden per jaar is 40070 (juni 2010 – juni 2011)

Stel totale jaaronzet bedrijf x = € 80,- per m².

Bovenstaande resulteert in 0,20 cent omzet per groei-eenheid (80 euro / 40070 eenheden) en een verlies aan groei-eenheden van 36,8 per dag (211-174,2). Dat geeft gezamenlijk een omzet verlies per dag van 7,35 cent per m² (36,8 x 0,20 cent) ofwel € 735,- per hectare per dag.

6. Conclusies en aanbevelingen

Het ontwikkelde GrowSense 2 model kan voor meerdere doeleinden ingezet worden in de bedrijfsvoering:

- Als attenderingsysteem dat aangeeft dat de lichtbenutting van het gewaslangdurig veel lager blijft dan verwacht mag worden op basis van de gemeten kasklimaat condities. Dit kan het gevolg zijn van onder andere sluiten van de huidmondjes of gebruik van gewasbeschermingsmiddelen.
- Als optimaliseringinstrument wat de mogelijkheid biedt om het kasklimaat binneneen 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.

Na aanleiding van het project GrowSense 2 zijn de volgende conclusies opgesteld.

- Het GrowSense 2 model monitort en berekent zeer nauwkeurig de groei van Spathiphyllum en Anthurium.
- Het GrowSense 2 model monitort en berekent nauwkeurig de groei van Kalanchoë.
- Met redelijk eenvoudige berekeningen is het mogelijk de GrowSense output om te rekenen en te vergelijken met de werkelijke drogestof aanmaak.
- De GrowWatch en het GrowSense 2 model geven een duidelijk beeld van de actuele klimaatomstandigheden.
- De toepassing van de GrowWatch en het GrowSense 2 model blijkt goed aan te sluiten en te passen in de praktijk.
- Door het monitoren van slechts drie grafieken is het mogelijk de dagelijkse klimaatomstandigheden snel te screenen.
- De lichtgebruikgrafiek geeft een goed beeld van de actuele verdeling van het licht voor de fotosynthese. Deze gegevens kunnen worden toegepast voor de schermstrategie en klimaat instellingen.
- Het GrowSense 2 model kan beslissing ondersteunend werken bij het maken van klimaat aanpassingen.
- Het model geeft inzicht in het effect van schermen. Hierdoor kan groei geoptimaliseerd worden en energie worden bespaard.
- De toepassing van GrowSense 2 is bruikbaar voor energie besparen. Het is echter lastig dit met 'harde cijfers' aan te tonen, omdat het gaat om specifieke momenten. Op basis van de ervaring in dit project wordt de besparing gesteld op 5 tot 10%.

Gedurende de praktijkmonitoring is intensief samengewerkt met de praktijkbedrijven. Alle gebruikers beseffen dat er een leerproces wordt ingezet. De GrowWatch en het GrowSense 2 model geven nieuwe parameters die tijd nodig hebben voordat deze gaan 'leven'. Wanneer er meer feeling ontstaat met de parameters wordt de interpretatie duidelijker en sneller. Dan kan er gestuurd en gemonitord worden door middel van de GrowSense modellen. Het onderhouden en afstellen van de sensoren en het verwisselen van het blad zijn aandachtspunten voor de gebruiker. Belangrijke outputgegevens zijn: Fotosyntheserendement, lichtgebruik en gerealiseerde assimilatie. Deze 3 basis grafieken zijn bruikbaar in de dagelijkse praktijk. Opvallend hierin is dat de relatief simpele PAR-licht

meting van de GrowWatch ook als belangrijke toevoeging wordt gezien op de huidige meetwaarde in de kas.

De aandacht voor VPD moet in de praktijk sterk vergroot worden. Binnen het project is het belang van de VPD aangetoond voor de fotosynthese van potplanten. De VPD is sterk van invloed op de gerealiseerde fotosynthese. Het is dan ook raadzaam om deze parameter in te brengen in de praktijk. De huidige regeling op RV is eigenlijk te beperkt, de meetwaarde geeft geen inzicht in de omstandigheden die de plant ervaart.

Voor verdere optimalisatie van de Nederlandse potplantensector is het aan te bevelen om het GrowSense 2 concept verder uit te breiden naar verschillende teelten. Dit kan gedaan worden door relatief simpele gewas input in het GrowSense 2 model. Het continu blijven ontwikkelen van het model en de toepassing is van groot belang. Het model is hiermee dan ook nooit af, er zal telkens moeten gekeken worden naar nieuwe inzichten en implementatie van deze kennis in het model. Tevens verdient het aanbeveling om de GrowSense 2 output te gebruiken voor een meer financiële benadering van groei. Hoofdstuk 5 geeft al een eenvoudig beeld van hoe GrowSense output gebruikt kan worden in een financiële berekening. Wanneer deze basis verder wordt uitgebreid kan het GrowSense model dienst doen om het rendement van de sector te verbeteren. Energie input en gerealiseerde groei zullen daarbij belangrijke parameters zijn.

Literatuurlijst

Anonymous. 2008. *Convenant schone en zuinige agrosectoren*. Den Haag, The Netherlands.

Pot CS, Trouwborst G, Schapendonk AHCM. 2011. Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 28p.

Trouwborst G, Pot CS, Schapendonk AHCM. 2010. Teeltoptimalisatie Miltonia: Bepaling van huidmondjesgedrag en lichtbenutting in relatie tot VPD. Wageningen: Plant Dynamics B.V. , 43p.

Verberkt H, Pot C S, Blaakmeer A, Voogt J. 2010. Make sense GrowSense. Wageningen: DLV Plant B.V., 175p.

Bijlagen

7. Sensoren en berekeningen

7.1 GrowWatch

De GrowWatch is een koppeling van sensoren aan intelligente software voor onder andere de bepaling van groei en diagnose van stress. De meetgegevens kunnen online bekeken worden.



Figuur 16 GrowWatch

De sensoren die voor het GrowWatch meetsysteem minimaal benodigd zijn:

- Ruimte temperatuur meter
- Relatieve luchtvochtigheid (RV) meter
- CO₂ meter
- Plantiviteitsmeter met ingebouwde PAR sensor
- 2 PAR sensoren
- Blad/planttemperatuur meter

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

- Wet meter. Deze bestaat uit:
 - Substraattemperatuur meter
 - EC meter
 - Vochtgehalte meter substraat
- Stengeldikte meter
- Bladdikte meter (vooral interessant bij CAM planten)
- Weegschaal/CropScale

Methet GrowWatchmodel wordt de uiteindelijke fotosynthese in gram droge stof per m² blad (= geavanceerde assimilatie) berekend. In het model wordt ook rekening gehouden

met de invloed van licht, CO₂ en de VPD op de fotosynthese. De gebruikte parameters zijn gewasafhankelijk en moeten voor ieder gewas apart bepaald worden.

7.2 Relevante plantsensoren voor 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. De ruimtetemperatuur wordt gebruikt voor het bepalen van verdampingsdruk verschil (of enthalpie) van omgeving en plant.

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

CO₂-sensor

De elektronische CO₂ sensor maakt het mogelijk om CO₂ te meten tussen het gewas. Deze geeft zicht op de CO₂ die bij de plant aanwezig is en hoeveel CO₂ is er nodig om het fotosyntheseproces in evenwicht te houden.

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

PAR-sensor

PAR (Photosynthetic Active Radiation) is de hoeveelheid "groei" licht (400-700nm) die op het gewas valt. Dit licht 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 kan leiden tot verbranding van het gewas of sluiten van de huidmondjes. De PAR-sensor wordt in de kas geplaatst net boven het gewas. Zo is er een juiste registratie van licht dat het gewas ontvangt. In veel gevallen is het licht de beperkende factor is. De sensor wordt in duplo geïnstalleerd om onverhoopte schaduwwerkingen van de omgeving te ondervangen.

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



Figuur 17 PAR licht sensor

De infrarood temperatuur sensor

De infrarood temperatuur sensor kan de blad- of planttemperatuur meten. De sensor kan op een blad of plant worden gericht, zodat er een gelijkmatige meting van de temperatuur plaatsvindt. De planttemperatuur bepaalt o.a. de dampdruk in de plant.

Parameter: Planttemperatuur in graden Celsius.



Figuur 18 Infra Rood temperatuursensor (IR camera / Planttemperatuur meter)

Plantvitaliteitsmeter of Plantivity

De plantvitaliteitsmeter of Plantivity meet de chlorofylfluorescentie. 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 Plantivity 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 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$). De fluorescentie wordt gebruikt als input voor de softsensor in het GrowWatchmodel.



Figuur 19 Plantivity

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:

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

De wet-sensor wordt softwarematig gekalibreerd en kan daarom in vele bodem- en substraatsoorten 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 substraattemperatuur van belang. Veranderingen in substraattemperatuur kunnen veranderingen in plantopbouw bewerkstellingen.

7.3 Berekende waarden vanuit de sensormetingen: softsensoren

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 ruimtetemperatuur en RV:

- De dauwpunttemperatuur
Als de kasttemperatuur 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 dauwpunttemperatuur komt, dan condenseert er vocht op het gewas. Dit geeft grote risico's op ziekten zoals aantasting door Japanse Roest of *Botrytis*.

Met de planttemperatuurmeter:

- De VPD (vapourpressure 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 bepaalt de dampdruk in de huidmondjes, waarbij de RV in de huidmondjes op 100% wordt gesteld. De ruimtetemperatuur en RV van de meetbox in de GrowWatch 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 (zie uitleg chlorofyl-fluorescentie):

- 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%) is het blad beschadigd of verouderd.
- 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. Rendement ligt 's nachts 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
- Geavanceerde assimilatie = Berekende opgenomen $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ blad per 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.

8. Handleiding plaatsing GrowWatch

PAR metingen (2 sensoren)

- PAR sensoren waterpas stellen. let op schaduw objecten of overhangende bladeren.

Meetbox (luchttemperatuur, CO₂, RV)

- Meetbox (box met ventilator) net boven of tussen het gewas plaatsen.
- Houd rekening met eventuele CO₂ doseerpunten.

IR camera (plant temperatuur)

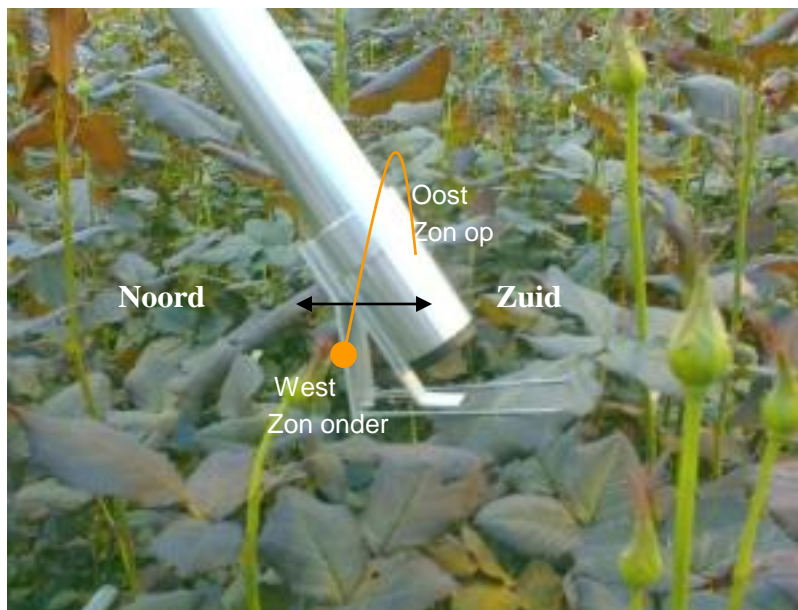
- IR plant temperatuur meter op het gewas richten, liefst richting het zuiden.
- Probeer een zo goed mogelijk representatief beeld te krijgen van de gehele plant.
- Zorg er voor dat er geen storende objecten in het meetveld komen zoals verwarmingsbuizen, goten of beton vloeren.
- De ideale hoek voor opstelling van de camera is wanneer het bovenzvlak van de houder (zwarte beugel) waarin deze gemonteerd zit horizontaal staat.

WET sensor (Vochtgehalte, EC en bodemtemperatuur)

- WET sensor pinnen volledig in het substraat steken.
- WET sensor in alle richtingen diagonaal insteken. Zo kan er geen vocht op de meting blijven staan.

Plantivity

- Wissel iedere week het blad in de bladhouder. Dit dient een jong volwassen blad te zijn.
- De bladhouder moet gericht staan op het zuiden.
- Stel de Plantivity zo op dat er nooit schaduw is op het meetvlak. Denk hierbij ook aan eigen metingen; PAR sensoren, meetbox, of beugels/kabels.
- Bladhouder (dus ook het blad) moet horizontaal staan.



Figuur B5.1 Juiste plaatsing Plantivity ten opzichte van de zon.

9. Uitleg chlorofyl-fluorescentie

De bepaling van het rendement van de lichtreactie is gebaseerd op een aantal basis fluorescentie signalen:

1. Meting van de (basis)fluorescentie
2. Intense lichtflits van een seconde
3. Meting van de maximale fluorescentie tijdens de intense lichtflits

De fluorescentie wordt in het donker F_0 en in het licht F_s genoemd. De maximale fluorescentie gedurende de lichtflits heet in het donker F_m (FMdonker) en in het licht F_m' (FMlicht).

Het rendement (efficiëntie) van de lichtreactie wordt berekend uit de verhoudingsgetallen tussen de basis fluorescentie en de maximale fluorescentie van het fotosyntheseapparaat. In het donker zijn de reactiecentra (Fig. 2) "leeg". Het rendement waarmee de reactiecentra door licht "gevuuld" kunnen worden is dan maximaal en de fluorescentie minimaal (F_0 ; Fig. B2.1). Door een intense lichtflits af te vuren op het blad worden alle reactiecentra "gevuuld" en wordt het rendement van het licht voor een heel korte tijd minimaal en de fluorescentie juist maximaal (F_m). In figuur B2.1 worden de signalen en hun samenhang weergegeven.

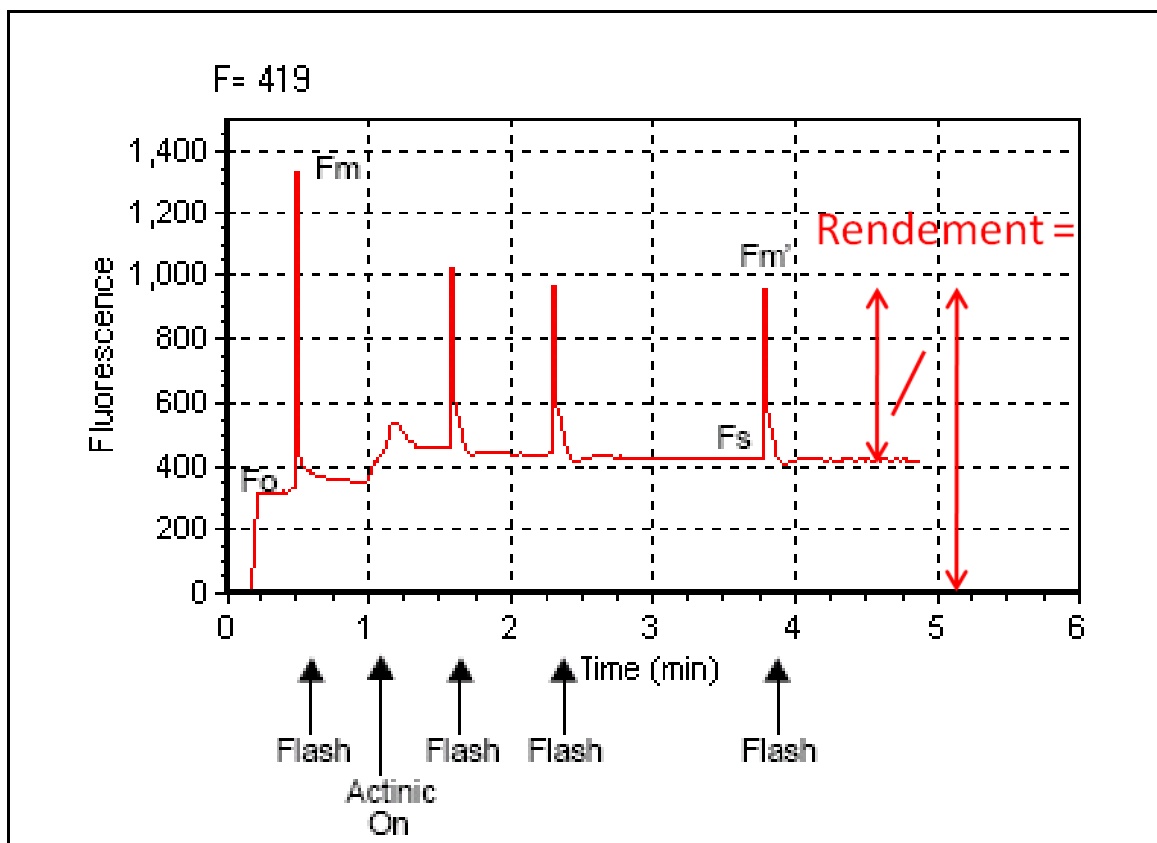


Fig. B2.1. Standaardgrafiek chlorofylfluorescentie. In het donker wordt de basisfluorescentie (F_0) bepaald. Vervolgens wordt het blad blootgesteld aan een lichtflits met zeer hoge intensiteit voor de bepaling van de maximale fluorescentie (F_m). Dit kan worden herhaald in het licht voor de bepaling van F_s en F_m' . Het rendement wordt berekend uit de verhouding tussen de twee rode pijlen.

Het maximale rendement van de lichtreactie wordt bepaald door de verhouding tussen de minimale en maximale fluorescentie:

$$\text{Rendement(donker)} = (FM_{\text{donker}} - F_0) / FM_{\text{donker}}$$

De uitkomst van deze formule is een maat voor plantvitaliteit omdat gezonde planten een rendement(donker) van tussen de 0.79-0.81 hebben.

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

$$\text{Rendement(licht)} = (FM_{\text{licht}} - F_s) / FM_{\text{licht}}$$

Vervolgens kan het berekende rendement vertaald worden naar het aantal elektronen dat in de bladgroenkorrels door het licht wordt getransporteerd door de beide fotosystemen (Fig. 2) en als een soort energiecentrale gaat functioneren om de energie op te wekken, voor de aanmaak van suikers uit CO₂. Samen met de hoeveelheid *geabsorbeerd* groeilicht (PAR) wordt de snelheid van het elektronentransport (ETR) door fotosysteem 2 (Fig. 2) berekend. De ETR is een maat voor de hoeveelheid energie die beschikbaar is voor de fotosynthese (=vastlegging van CO₂):

$$\text{ETR} = \text{rendement(licht)} \times \text{PAR} \times \text{absorptiefactor blad} \times 0.5$$

10. Bepaling gewasspecifieke parameters

In fase 1 zijn de gewasspecifieke parameters voor Anthurium, Kalanchoë en Spathiphyllum bepaald. Hiervoor zijn door Plant Dynamics metingen verricht met een draagbare fotosynthesemeter (Li-6400).

Proeflocatie en uitgevoerde werkzaamheden:

1. Proefkassen WUR Bleiswijk.

3 afdelingen met verschillend instelmoment van bevochtiging: 40%, 60% en 80%.

Afhankelijk van hoeveelheid straling werden de lage niveaus over het algemeen niet gehaald. In de nacht liep de RV bij alle afdeling op. De gerealiseerde daggemiddelden rond de meetdagen per afdeling waren respectievelijk 70%, 77%, 85%. Hierdoor kon de gevoeligheid van de huidmondjes voor de VPD niet bepaald worden. Wel zijn hier de fotosyntheseparameters (J_{max} =maximaal elektronentransport en V_{cmax} =maat voor hoeveelheid Rubisco) bepaald voor de afzonderlijke gewassen (figuur 20 en figuur 21).

2. Klimaatkamers bij Botany in Horst.

De geleidbaarheid van de huidmondjes is bij 40%, 60% en 80% RV bepaald (Figuur 22).

Gewassen:

Kalanchoë: (oud blad is over het algemeen CAM)

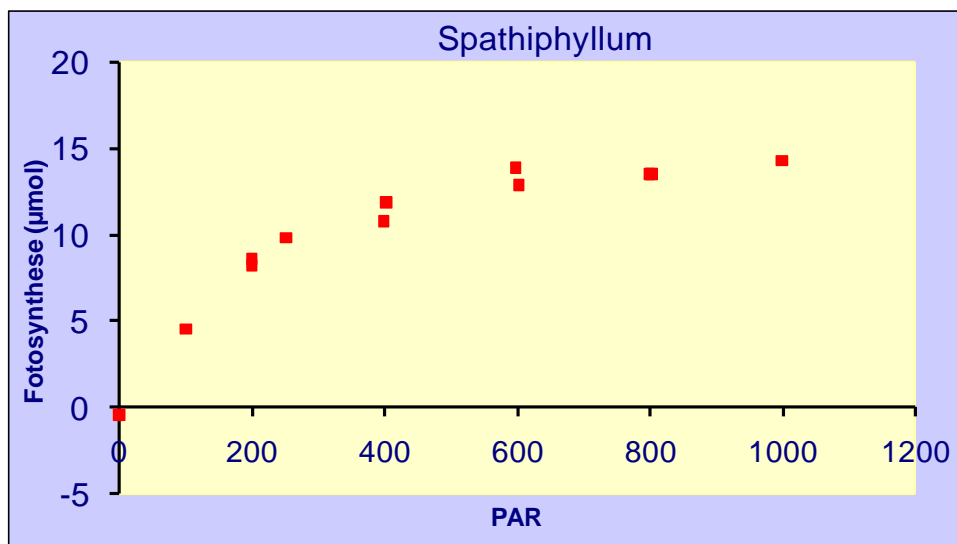
- jong blad bij LD planten
- jong blad bij KD planten (10 dg KD bij voldoende knopvorming)

Spathiphyllum: (1 cultivar met 2 potmaten)

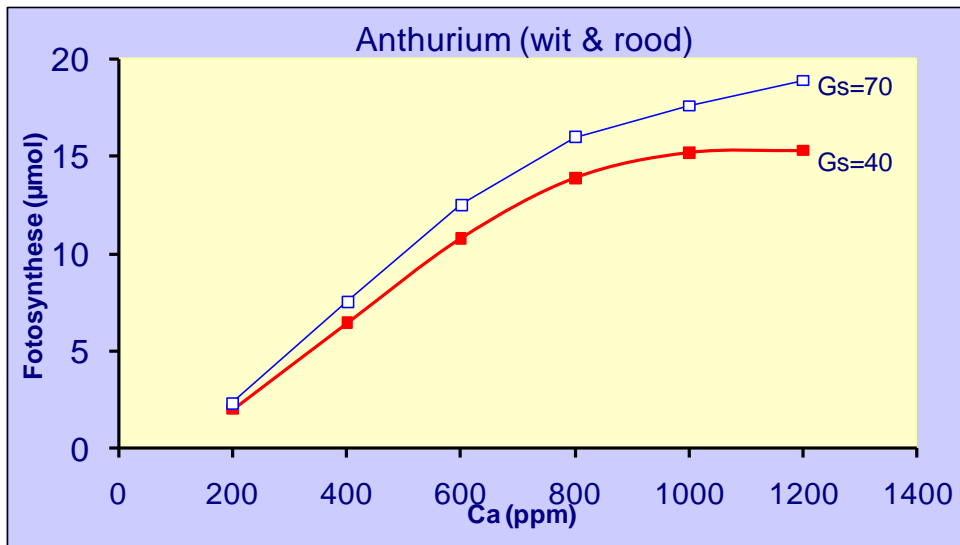
- potmaat 9 cm
- potmaat 17 cm

Anthurium: (2 cultivars)

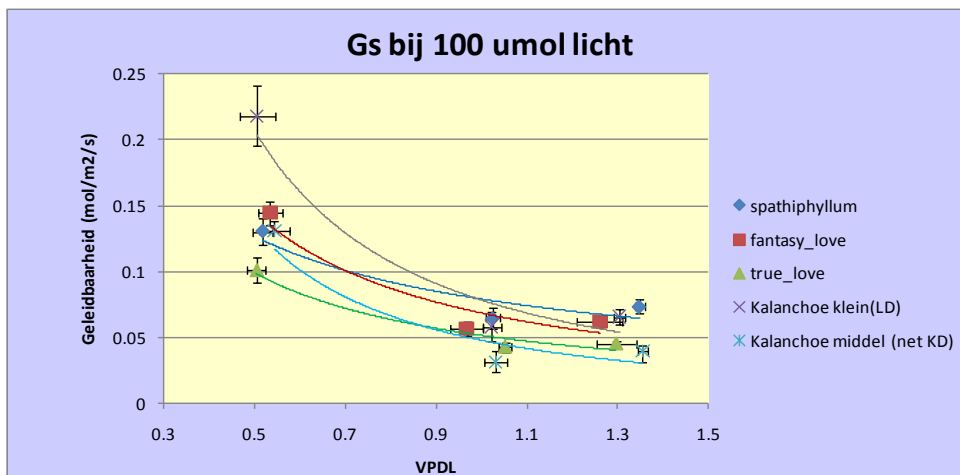
- True Love (rood)
- Fantasy Love (wit)



Figuur 20 Voorbeeld fotosynthese-lichtresponsecurve voor de bepaling van het maximale elektronentransport.



Figuur 21 Voorbeeld fotosynthese-CO₂-responscurve voor de bepaling van de gevoeligheid van de fotosynthese voor CO₂.



Figuur 22 Voorbeeld afhankelijkheid van de huidmondjes geleidbaarheid op de VPD. Bij een VPD van boven de 1 zijn de huidmondjes bijna dicht.

11. Teeltvoorbeeld lichtstress

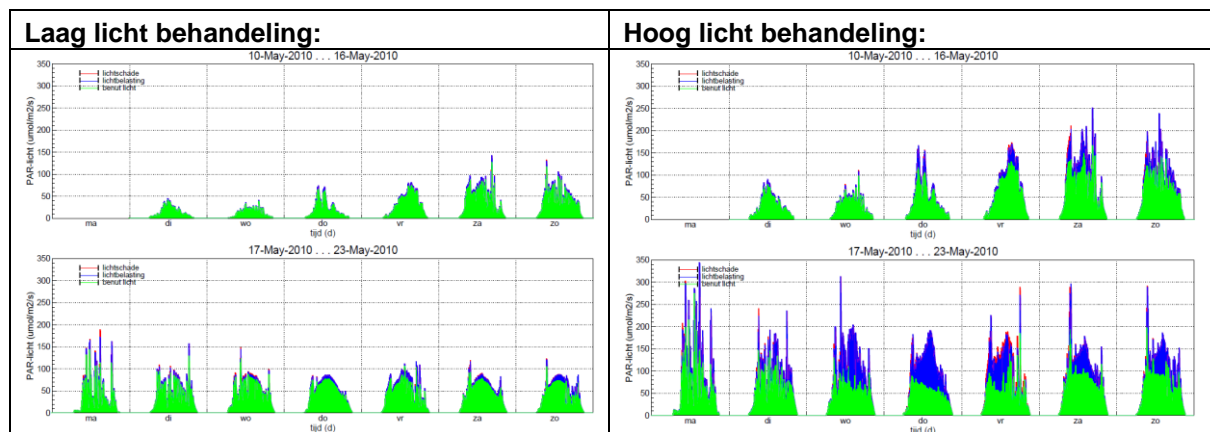
In de output van de Growwatch kan een vlakkengrafiek gemaakt worden die in een oogopslag zichtbaar maakt hoe het geabsorbeerde PAR-licht verdeeld wordt over 3 factoren:

- Lichtbenutting (groen vlak)
- Lichtbelasting (blauw vlak)
- Lichtschade (rood vlak)

In onderstaand figuur wordt een voorbeeld van ontstaan van lichtstress gegeven uit "Teeltoptimalisatie Miltonia" (PT: Plant Dynamics 2010). Er waren twee behandelingen:

- laag licht met een streefwaarde van 4 mol/dag
- hoog licht met een streefwaarde van 7 mol per dag

In de week van 10 mei 2010 nam de lichtintensiteit met de dag toe (evenredig met het oppervlak van de hele grafiek). In de hoog licht behandeling werd er in de loop van de week steeds meer PAR-licht gereguleerd afgevoerd (blauwe vlak wordt steeds groter). Ondanks dat is in de eerste week duidelijk te zien dat de lichtbenutting (groene vlak) groter is voor de hoog licht behandeling dan voor de lage lichtbehandeling. In de week van 17 mei ontstond er te veel lichtstress in de hoog licht behandeling (blauwe vlak werd groter dan het groene vlak) dit resulteerde een aantal dagen in een kleiner oppervlak van benut licht dan die van de laag licht behandeling. Gedurende de twee weken van de laag licht behandeling waren de blauwe vlakken heel klein en de rode vlakken kwamen niet voor. Dit laat zien dat deze planten meer licht aan konden.



Verdeling van geabsorbeerde PAR in lichtbenutting, lichtbelasting en lichtschade voor twee geselecteerde weken gedurende het Miltonia experiment. Legenda: groen oppervlak: benut licht voor de fotosynthese; blauw oppervlak: overtollig licht dat gereguleerd afgevoerd wordt; rood oppervlak: overtollig licht dat schade oplevert. Merk op dat in de laag licht behandeling de blauwe vlakken heel klein zijn en rode vlakken niet voorkomen. Dit laat zien dat deze planten meer licht aan konden.

12. Praktijkmonitoring (fase 3)

In fase 2 is in eerste instantie door Plant Dynamics een nieuw generiek model opgesteld dat door GrowTechnology is omgezet naar software voor toepassing in de praktijk. Het generieke model is aan de hand van de fotosynthesemetingen in fase 1 verder toegespitst op de pilotgewassen potanthurium, Kalanchoë en Spathiphyllum. De belangrijkste verandering hierin is de nieuwe wijze van presenteren van het lichtverbruik (stressdetectie).

In fase 3 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 één praktijkbedrijven per pilotgewas uitgevoerd. In totaal dus op 3 praktijkbedrijven.

In tabel 5 staat 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 zijn dan ook jaarrond gevolgd op de bedrijven.

Op de bedrijven is een GrowWatch geplaatst en zijn de diverse parameters in de GrowWatch software 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. Twee cultivars per bedrijf zijn uitvoerig gevolgd waarvan één met de GrowWatch.

De deelnemende telers konden tijdens de monitoring on-line hun eigen gegevens volgen. Hierdoor is meer duidelijkheid verkregen over de beslismomenten in klimaat. Naast teveel lichtschade 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 een partij van minimaal 1000 planten aangehouden. De gewaswaarnemingen zijn per partij aan 2 x 10 planten gevolgd.

Tabel 5 Deelnemende bedrijven praktijkmonitoring

Gewas	Bedrijf	Teeltsysteem	Cultivar	Potmaat	Teeltduur
Kalanchoë	Strijbisverbeek	Rol containers	1. Don juan / Angelo	9 cm	ca. 10 weken KD
			2. Frederique	9 cm	ca. 10 weken KD
Potanthurium	Rijnplant	Betonvloer	1. True Love Red	13 cm	ca. 30 weken
			2. Anthedesia White	13 cm	ca. 30 weken
Spathiphyllum	van der Voort	Betonvloer	1. 555 (chopin)	17 cm	ca. 30 weken
			2. 2944 (straus)	17 cm	ca. 30 weken

13. Resultaten praktijkmonitoring

13.1 Kalanchoë

13.1.1 Opzet en meetprotocol Kalanchoë

In de monitoringsperiode van één jaar zijn 5 teelten gevolgd per ras. Het ras Don Juan is gevolgd met de GrowWatch, na 3 teelten is dit ras gewisseld naar Angelo in verband met beschikbaarheid. Het tweede ras dat gevolgd is, is Frederique.

Ras 'Don Juan' (later Angelo) en 'Frederique'

- Juli – september (1)
- September – december (2)
- December – februari (3)
- Februari – april (4)
- April – juni (5)

Op het bedrijf is gemeten vanaf start van de korte dag periode (KD).

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

- Planthoogte. Hierbij is de hoogte aangehouden van pot tot groeipunt.
- 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, wijder zetten etc.

13.1.2 Gewaswaarnemingen



Foto 1 Don Juan

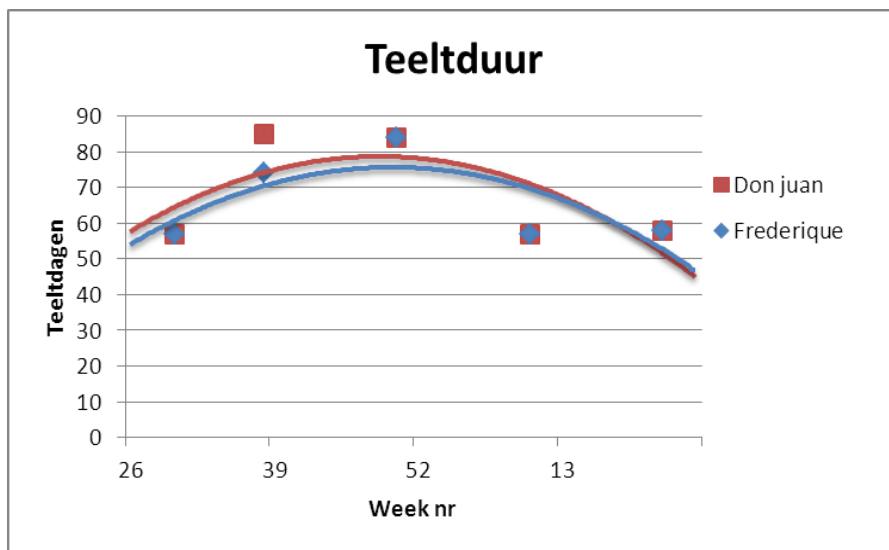


Foto 2 Angelo



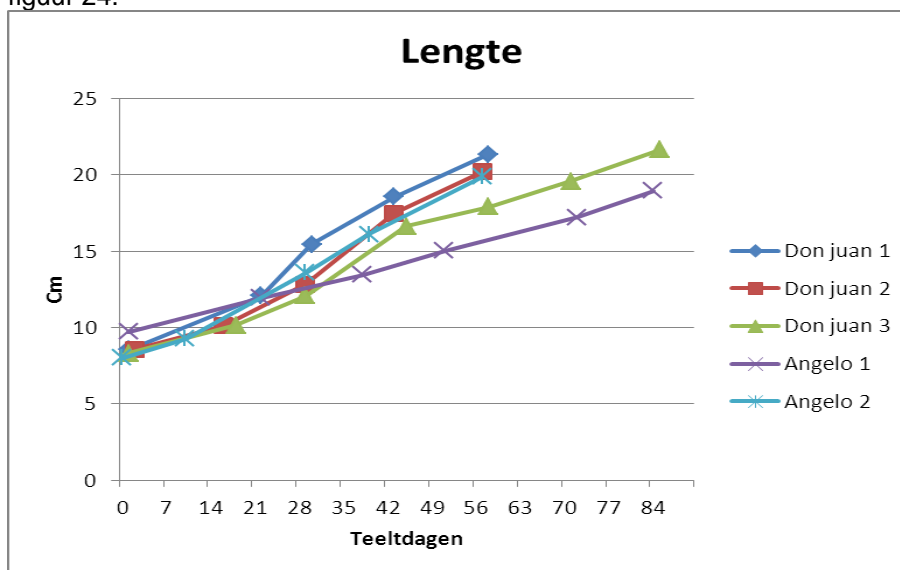
Foto 3 Frederique

De metingen zijn gestart in de laatste fase van de teelt waarbij de potten op eindafstand stonden, de plantdichtheid bedraagt 55 planten/per m². De teelt heeft plaatsgevonden in 9 cm pot op rolcontainers met eb en vloed systeem. De teeltduur over het jaar varieerde van 57 tot 85 dagen (figuur 23).



Figuur 23 Teeltduur in relatie tot plant week

De rassen verschillen onderling minimaal qua teeltduur. Hierbij is als einddatum de dag van veilen/verkoop aangehouden, hierdoor kan het zijn dat er enige vertekening in het beeld ontstaat, door verschillen in rijpheid. De lengte ontwikkeling per teelt is weergegeven in figuur 24.

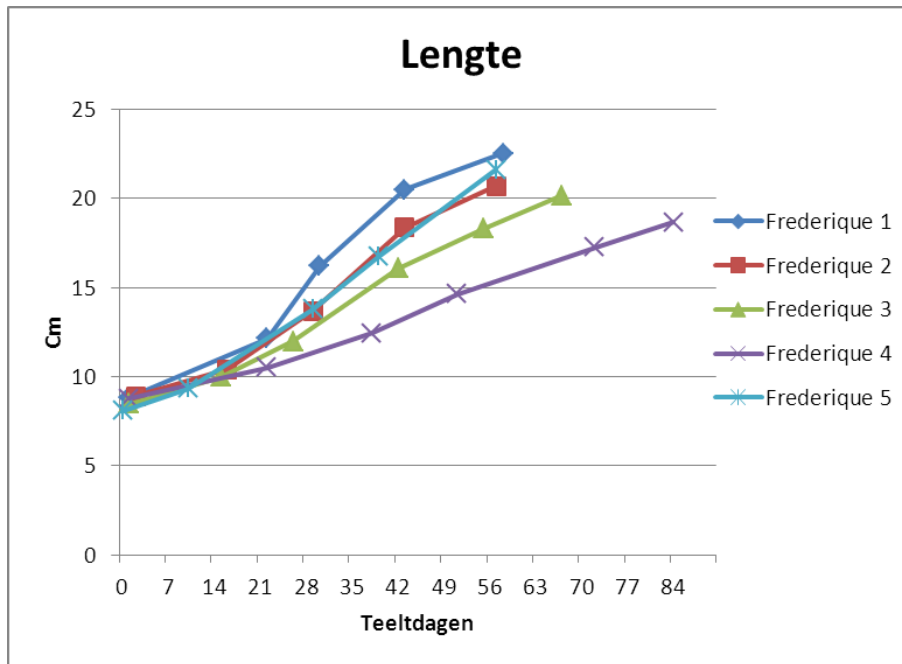


Figuur 24 Lengteontwikkeling Kalanchoë Don Juan, Angelo

Deze ontwikkeling is op veel momenten lineair te noemen. De winterteelten (teelt 3&4) laten hierbij een duidelijk tragere ontwikkeling zien (tabel 6). De eindlengte per gewas verschilt minimaal.

Tabel 6 Lengteontwikkeling Kalanchoë per week

Lengte ontwikkeling	Don Juan 1	Don Juan 2	Don Juan 3	Angelo 1	Angelo 2
Lengte (cm)	2,58	2,48	1,78	1,58	2,44



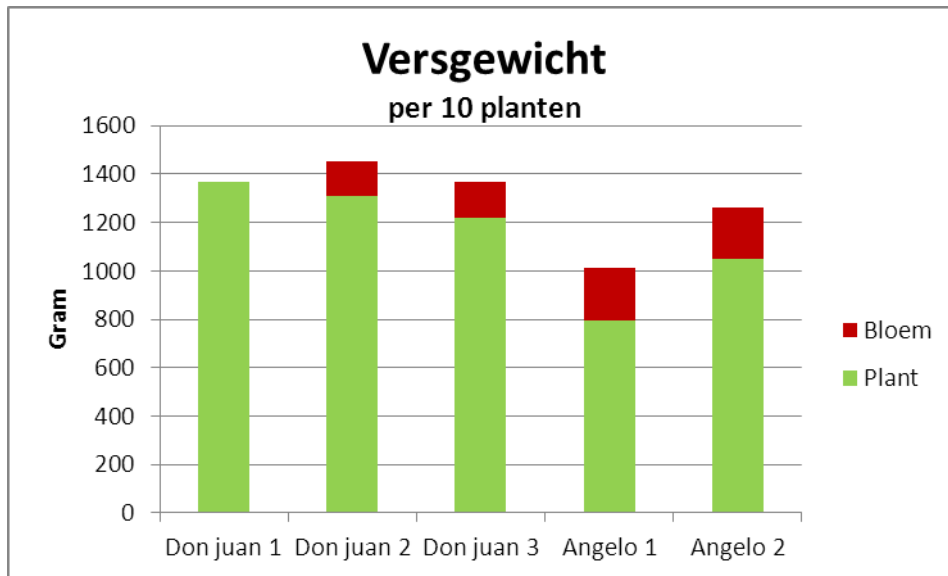
Figuur 25 Lengteontwikkeling Kalanchoë Frederique

In figuur 25 is de lengteontwikkeling weergegeven van Frederique. Bij de derde teelt ontbreekt de eindwaarneming. De periode heeft hierbij veel invloed op de lengteontwikkeling. De teelten gestart in het najaar of winter laten duidelijk een tragere ontwikkeling zien.

Tabel 7 Lengteontwikkeling Kalanchoë per week

Lengte ontwikkeling	Frederique 1	Frederique 2	Frederique 3	Frederique 4	Frederique 5
Lengte (cm)	2,72	2,54	2,11	1,56	2,66

Het versgewicht is per 2 weken gemeten door 10 planten (groene delen) af te snijden en te wegen. Vervolgens zijn deze planten gedroogd om het drogestof gewicht en het drogestof percentage te bepalen.

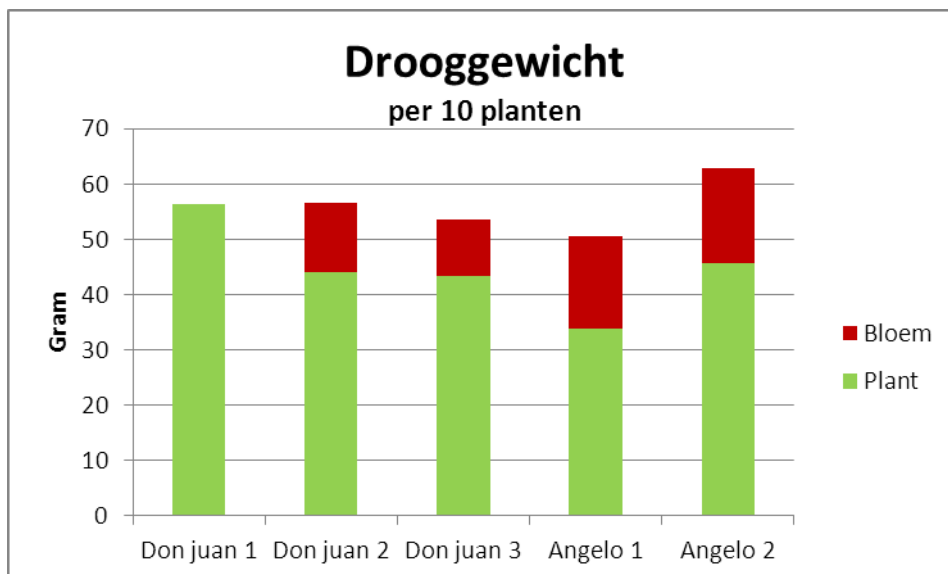


Figuur 26 Vergewicht bij einde teelt per 10 planten

Bij Don Juan 1 is het vergewicht van bloem en plant niet apart gewogen. Angelo 1 heeft een duidelijk lager vergewicht gerealiseerd. Angelo heeft meer gewicht gerealiseerd in de bloem ten opzichte van de Don Juan teelten. Dit is ook zichtbaar in de ontwikkeling per week (Tabel 8).

Tabel 8 Vergewicht ontwikkeling Kalanchoë per week

Vergewicht ontwikkeling	Don Juan 1	Don Juan 2	Don Juan 3	Angelo 1	Angelo 2
Plant (gram)	165,16	160,57	100,38	66,07	128,76
Bloem (gram)	*	17,99	12,21	18,30	25,90



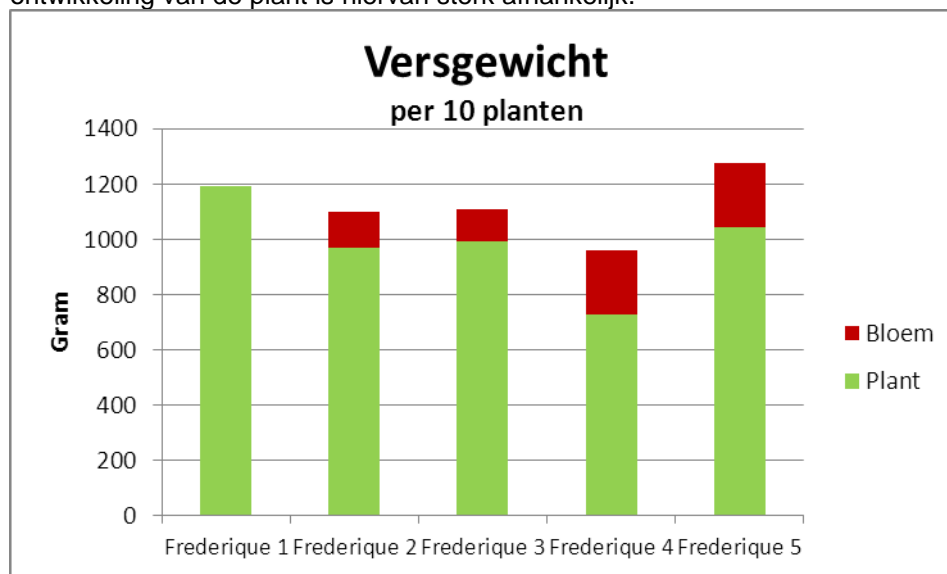
Figuur 27 Drooggewicht bij einde teelt per 10 planten

Het drooggewicht is stabiel over het jaar dan het vergewicht. Dit zal dus invloed hebben op het drogestof percentage. Angelo heeft hier ook relatief meer gewicht in de bloem ten opzichte van Don Juan.

Tabel 9 Drooggewicht ontwikkeling Kalanchoë per week

Drooggewicht ontwikkeling	Don Juan 1	Don Juan 2	Don Juan 3	Angelo 1	Angelo 2
Plant (gram)	6,81	5,40	3,57	2,82	5,62
Bloem (gram)	*	1,54	0,84	1,39	2,10

In tabel 9 is het seizoen effect weer zichtbaar. De teelten in een periode met weinig licht (Don Juan 3, Angelo 1) blijven achter in de opbouw van drooggewicht. Met name de ontwikkeling van de plant is hiervan sterk afhankelijk.

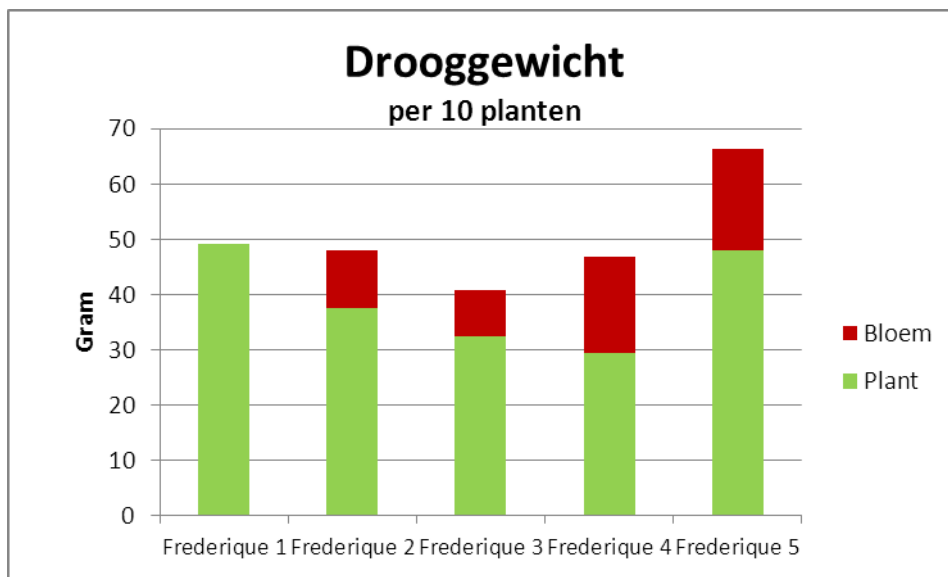
**Figuur 28 Versgewicht bij einde teelt per 10 planten**

Frederique 3 laat hierbij een kleine verhoging nog zien in het versgewicht. Dit zit in de plant, de bloem is zelfs lichter. De seizoensinvloed is hierbij ook groot.

Tabel 10 Versgewicht ontwikkeling Kalanchoë per week

Versgewicht ontwikkeling	Frederique 1	Frederique 2	Frederique 3	Frederique 4	Frederique 5
Plant (gram)	144,2	119,2	103,5	60,8	128,0
Bloem (gram)	*	15,9	12,2	19,3	28,9

Tabel 10 geeft de ontwikkeling van versgewicht weer. De opbouw blijft bij teelt 4 wederom ver achter. Dit is de teelt die in de winter is verlopen. De bloemontwikkeling is hierbij relatief hoog.



Figuur 29 Drooggewicht bij einde teelt per 10 planten

Het drooggewicht laat eenzelfde trend zien als het versgewicht. Het drooggewicht wordt deels beïnvloed door de bloem. Deze heeft een hoger drogestof percentage ($\pm 8\%$) terwijl dit bij de plant ongeveer de helft is.

Tabel 11 Drooggewicht ontwikkeling Kalanchoë per week

Drooggewicht ontwikkeling	Frederique 1	Frederique 2	Frederique 3	Frederique 4	Frederique 5
Plant (gram)	5,9	4,6	3,4	2,5	5,9
Bloem (gram)	*	1,3	0,9	1,4	2,2

Het effect van de lage lichtperiode is met name bij teelt 3 van grote invloed op de bloemvorming. Bij teelt 4 is juist de plantontwikkeling laag.

13.2 Anthurium

13.2.1 Opzet en meetprotocol Anthurium

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

- Teeltronde 1: juli – november
- Teeltronde 2: november - juli

Er zijn 2 rassen (14 cm container) intensief gevolgd, waarvan bij één ras de GrowWatch heeft gestaan. Dit zijn:

- 'True Love Red' (GrowWatch)
- 'Anthedesia White'

Daarnaast is ook de gewasontwikkeling van beide rassen 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.
- Bladafplitsing. 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 30 Planthoogte in cm

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

13.2.2 Gewaswaarnemingen teeltronde 1

In de monitoringperiode zijn 2 teelten gevolgd per ras. Het ras 'True Love Red' is ook gevolgd met de GrowWatch. Het tweede ras dat gevolgd is, is 'Anthedesia White'.



Foto 4 True Love Red



Foto 5 Anthedesia White

De metingen zijn gestart vanaf oppot, dit bedraagt 44 planten/m². De teelt heeft plaatsgevonden in 14 cm pot op betonvloer. De teeltduur bedroeg tussen de 175 en 200 dagen (tabel 12&tabel 13).

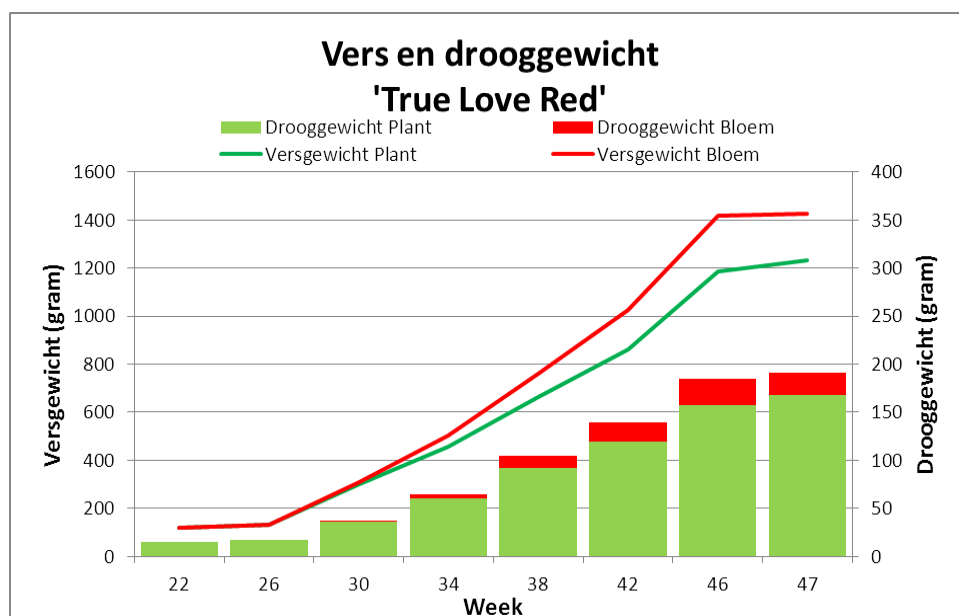
Tabel 12 Overzicht teeltschema 'True Love Red' teelt 1 (week.m² per 1000 planten)

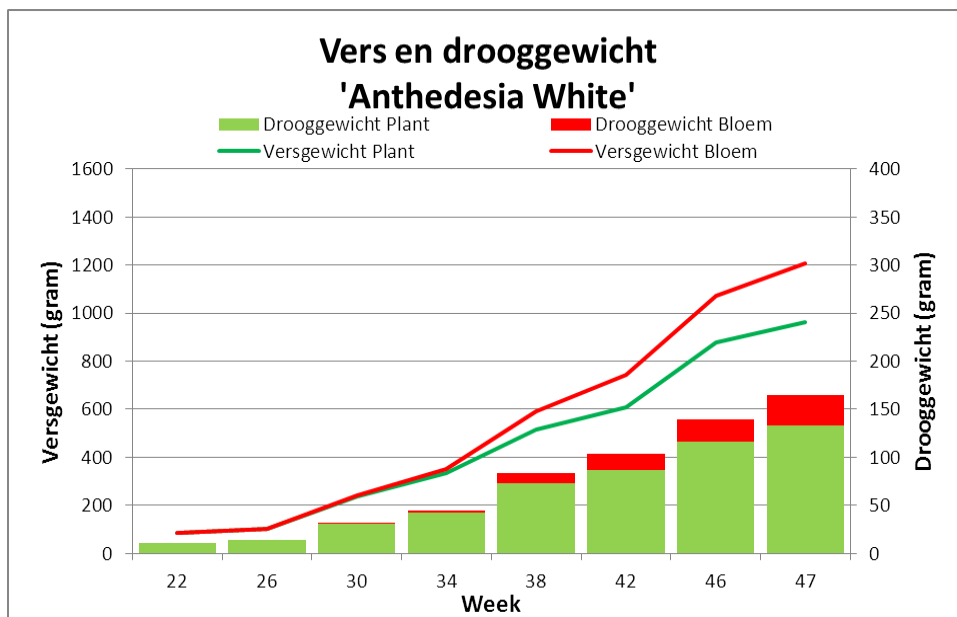
True Love Red 1						
Week	Fase	Plantdichtheid		Weken	m ²	Week.m ²
22	Oppot	44	Planten/m ²	10	22,7	227,3
32	U1	22	Planten/m ²	4	45,5	181,8
36	U2	15	Planten/m ²	11	66,7	733,3
47	Aflever.	15	Planten/m ²			
				25	Totaal (Week.m ²)	1142,4

Tabel 13 Overzicht teeltschema 'Anthesesia White' teelt 1 (week.m² per 1000 planten)

Anthesesia White 1						
Week	Fase	Plantdichtheid		Weken	m ²	Week.m ²
22	Oppot	44	Planten/m ²	12	22,7	272,7
34	U1	22	Planten/m ²	4	45,5	181,8
38	U2	15	Planten/m ²	9	66,7	600,0
47	Aflever.	15	Planten/m ²			
				25	Totaal (Week.m ²)	1054,5

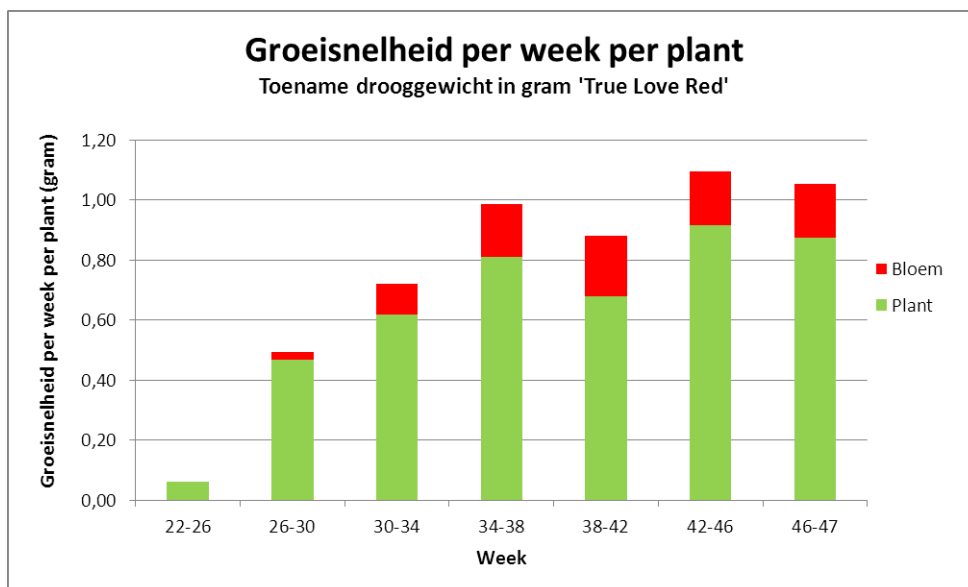
Anthesesia White is gelijk behandeld als 'True Love Red'. Het drogestof percentage van de planten is bij 'True Love Red' gemiddeld 13,2% en bij 'Anthesesia White' gemiddeld 13,5%. Bij de bloemen bedraagt dit bij 'True Love Red' gemiddeld 11,4% en bij 'Anthesesia White' gemiddeld 11,6%. In figuur 31&figuur 32 is het verloop van vers en drooggewicht weergegeven.


Figuur 31 Verloop vers en drooggewicht 'True Love Red'



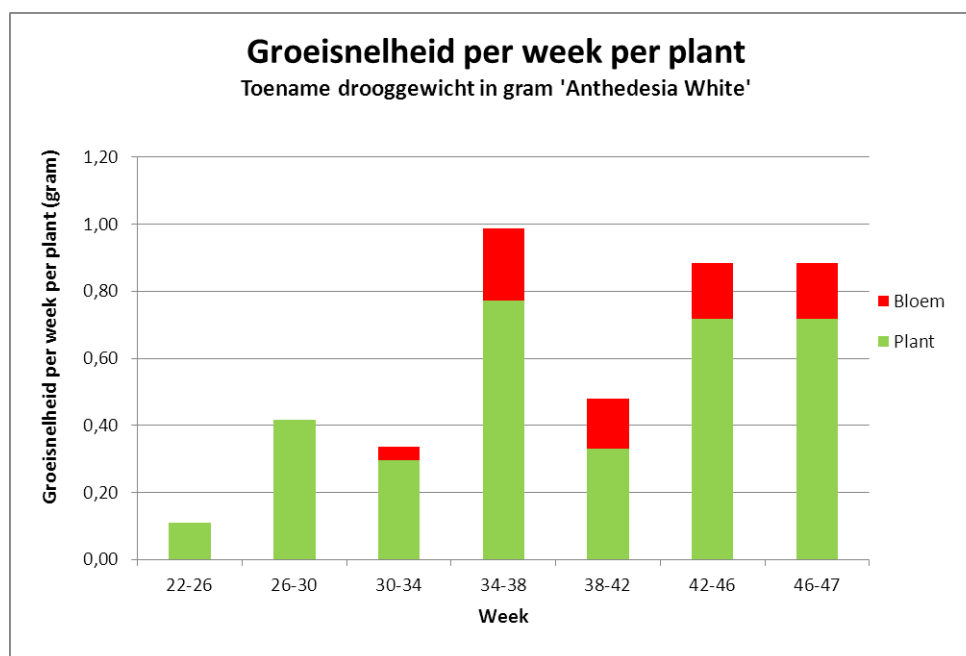
Figuur 32 Verloop vers en drooggewicht 'Anthedesia White'

De opbouw van drooggewicht verschilt per periode. Dit is weergegeven voor 'True Love Red' in figuur 33, hierbij is berekend hoeveel het drooggewicht is toegenomen tussen de meetmomenten. In de eerste periode (week 22-26) is de groei minimaal. Hierbij is het mogelijk dat de plant na het oppotten relatief veel energie heeft gebruikt voor de aanmaak van wortels, tevens is de LAI op dit moment beperkt. Het wijder zetten in week 32 en 36 lijkt een positief effect te hebben op de groeisnelheid. Opvallend is de groei in periode 42-46, deze is het hoogst van de gehele teelt.



Figuur 33 Groeisnelheid drooggewicht 'True Love Red'

De groeisnelheid van 'Anthedesia White' (figuur 34) ligt beduidend lager dan 'True Love Red'. De groeisnelheid in de eerste periode is minimaal, na wijderzetten in week 32 neemt de groeisnelheid toe. De periode 38-42 is de groei laag, dit effect is ook (in mindere mate) zichtbaar bij 'True Love Red'. Mogelijk moet de oorzaak dan ook in klimaatomstandigheden worden gezocht.



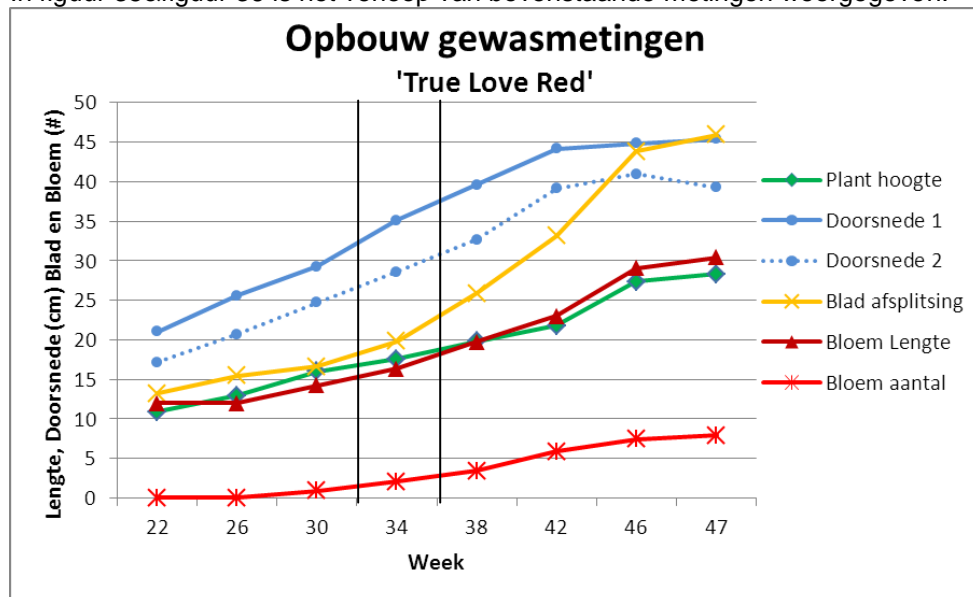
Figuur 34 Groeisnelheid drooggewicht 'Anthedesia White'

De opbouw van vers- en drooggewicht is bij potplanten niet het hoofddoel. De consument wil uiteindelijk een plant met sierwaarde. In tabel 14 is de toename van planthoogte, doorsnede, bladeren, aantal bloemen en bloemlengte weergegeven.

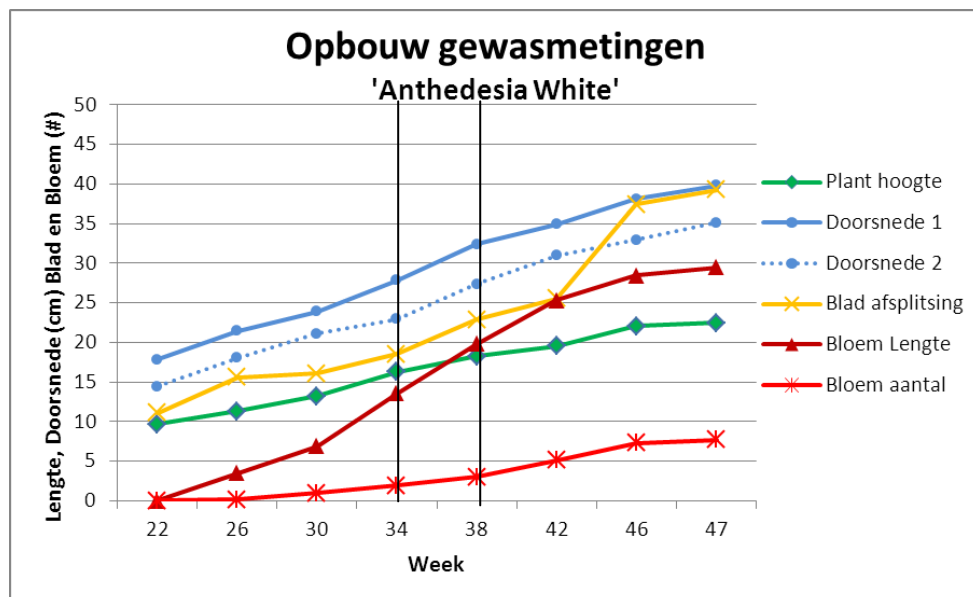
Tabel 14 Gemiddelde toename per week

	True Love Red 1	Alexia White 1
Plant Hoogte	0,70	0,51
Doorsnede 1	0,98	0,88
Doorsnede 2	0,89	0,83
Blad Afsplitsing	1,32	1,13
Aantal Bloemen	0,32	0,30
Bloem Lengte	0,74	1,05

In figuur 35&figuur 36 is het verloop van bovenstaande metingen weergegeven.



Figuur 35 Opbouw gewasmetingen 'True Love Red'



Figuur 36 Opbouw gewasmetingen 'Anthedesia White'

13.2.3 Gewaswaarnemingen teeltronde 2

De tweede teeltronde is gestart in week 45. Hierbij zijn wederom 'True Love Red' en 'Anthedesia White' gevolgd. In tabel 15 en tabel 16 zijn het aantal week.m² bepaald per 1000 planten.

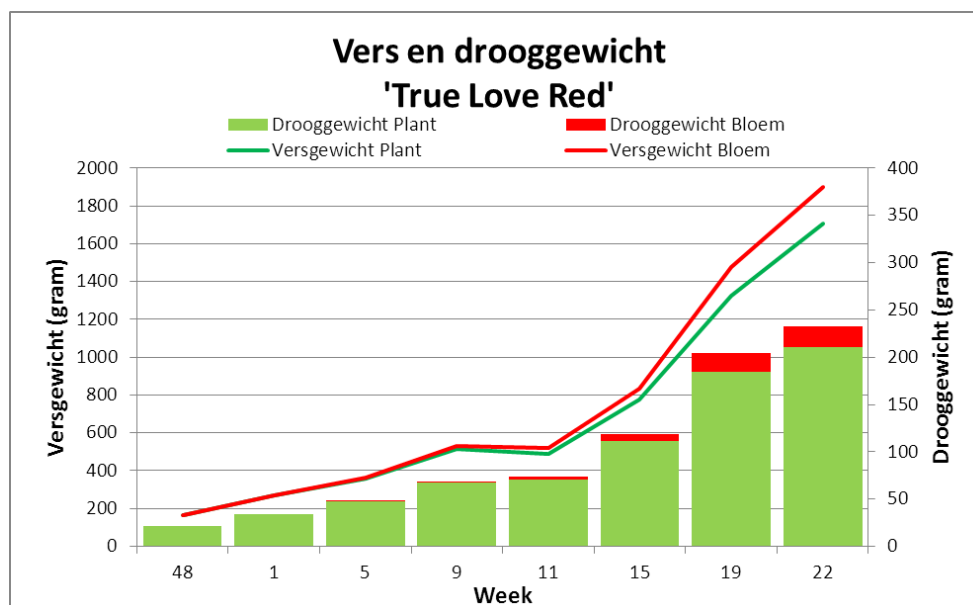
Tabel 15 Overzicht teeltschema 'True Love Red' teelt 2 (week.m² per 1000 planten)

True Love Red		2		Weken	m ²	Week.m ²
Week	Fase	Plantdichtheid				
45	Oppot	44	Planten/m ²	8	22,7	181,8
1	U1	22	Planten/m ²	9	45,5	409,1
10	U2	15	Planten/m ²	12	66,7	800,0
22	Aflever.	15	Planten/m ²			
				29	Totaal (Week.m ²)	1390,9

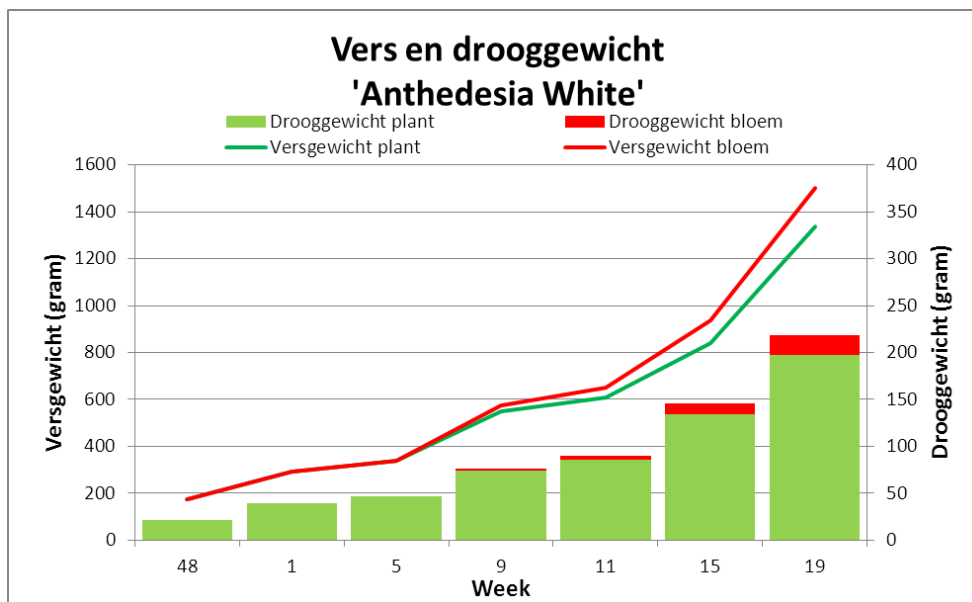
Tabel 16 Overzicht teeltschema 'Anthedesia White' teelt 2 (week.m² per 1000 planten)

Anthedesia White		2		Weken	m ²	Week.m ²
Week	Fase	Plantdichtheid				
45	Oppot	44	Planten/m ²	9	22,7	204,5
2	U1	22	Planten/m ²	7	45,5	318,2
9	U2	15	Planten/m ²	10	66,7	666,7
19	Aflever.	15	Planten/m ²			
				26	Totaal (Week.m ²)	1189,4

Anthedesia White heeft minder vertraging ondervonden van de donkerperiode. 'True Love Red' heeft behoorlijke vertraging ondervonden. Het drogestof percentage van de planten is bij 'True Love Red' gemiddeld 13,4% en bij 'Anthedesia White' gemiddeld 14,0%. Bij de bloemen bedraagt dit bij 'True Love Red' gemiddeld 10,0% en bij 'Anthedesia White' gemiddeld 10,8%. De GrowWatch software geeft de aanmaak van drogestof weer. In figuur 37 en figuur 38 is het verloop van vers en drooggewicht weergegeven.

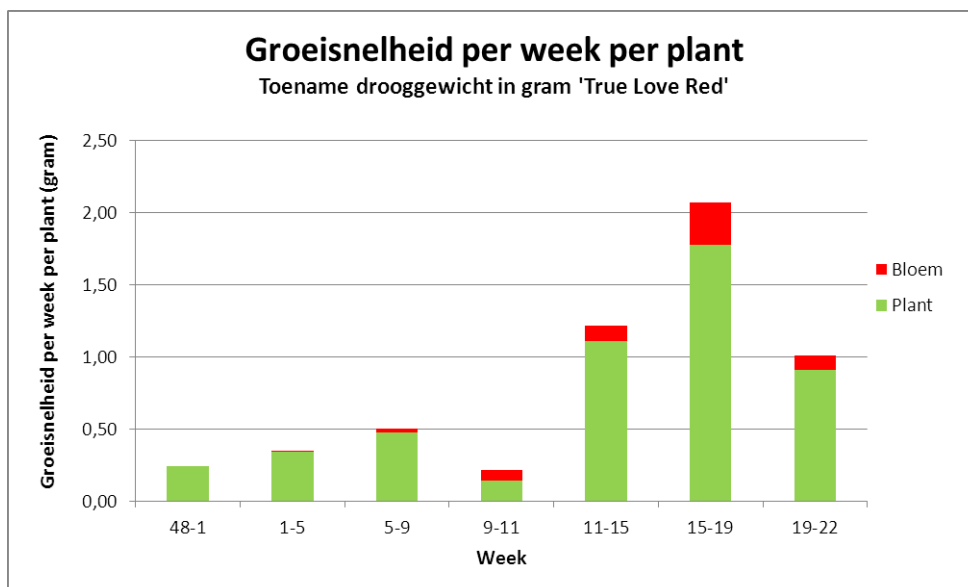


Figuur 37 Verloop vers en drooggewicht 'True Love Red' per 10 planten

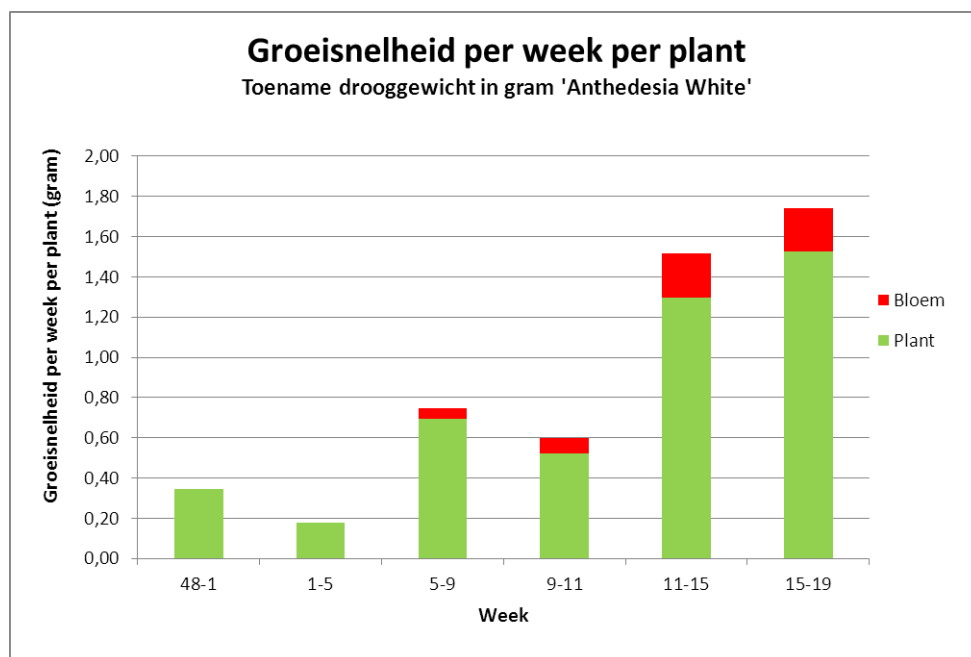


Figuur 38 Verloop vers en drooggewicht 'Anthedesia White' per 10 planten

De opbouw van drooggewicht verschilt per periode. Dit is weergegeven voor 'True Love Red' in figuur 39, hierbij is berekend hoeveel het drooggewicht is toegenomen tussen de meetmomenten. In de periode (week 9-11) is de groei minimaal. Het is niet duidelijk of het wijder zetten in week 9 hiervan de oorzaak is. Het kan zijn dat door het wijder zetten het microklimaat negatief beïnvloed wordt. De periode 11-15 en 15-19 hebben juist geresulteerd in zeer veel groei. De buitenomstandigheden waren ook gunstig door zonnig en droog weer in deze periode.



Figuur 39 Groeisnelheid drooggewicht 'True Love Red'



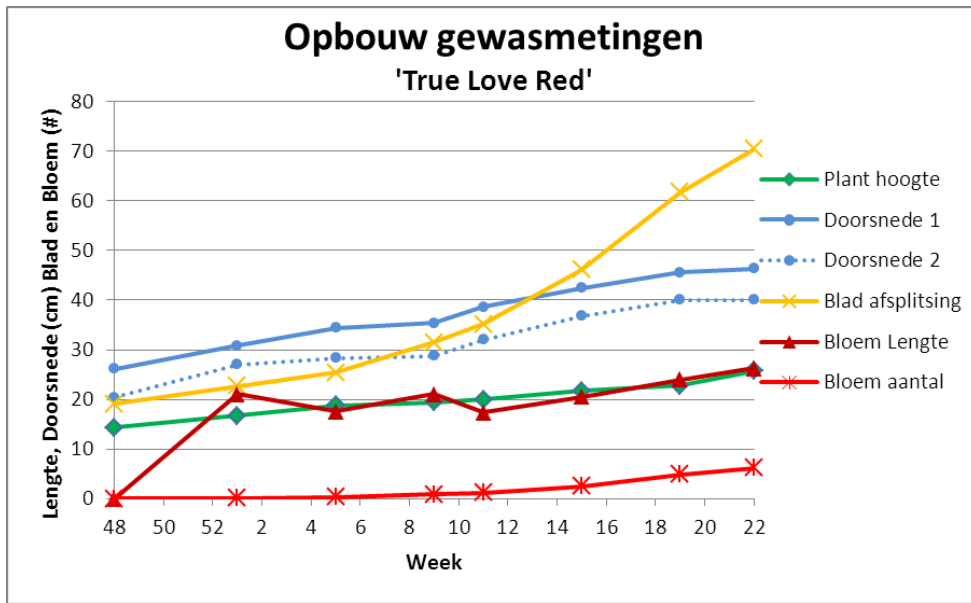
Figuur 40 Groei snelheid drooggewicht 'Anthedesia White'

De opbouw van vers- en drooggewicht is bij potplanten niet het hoofddoel. De consument wil uiteindelijk een plant met sierwaarde. In tabel 17 is de toename van planthoogte, doorsnede, bladeren, aantal bloemen en bloem lengte weergegeven.

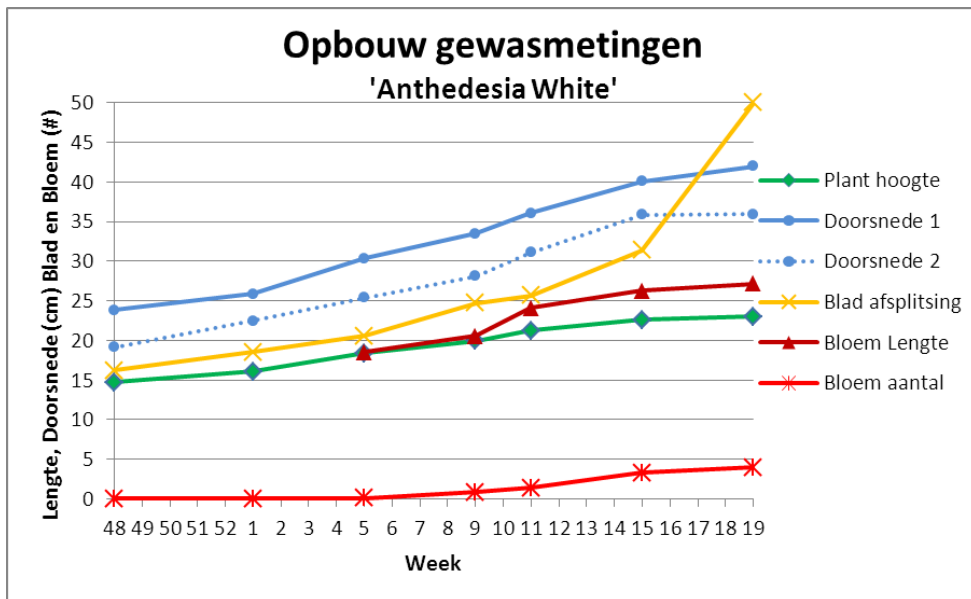
Tabel 17 Gemiddelde toename per week

	True Love Red 2	Alexia White 2
Plant Hoogte	0,44	0,35
Doorsnede 1	0,78	0,78
Doorsnede 2	0,75	0,72
Blad Afsplitsing	1,97	1,45
Aantal Bloemen	0,24	0,17
Bloem Lengte	0,20	0,37

In figuur 41 en figuur 42 is de opbouw van bovenstaande metingen weergegeven.



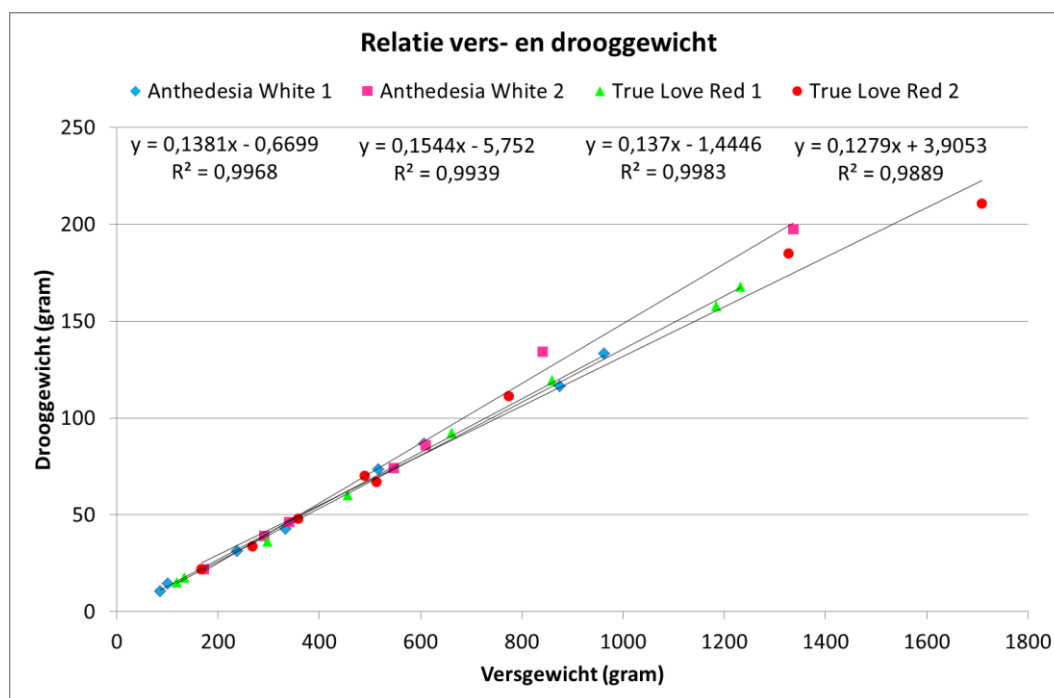
Figuur 41 Opbouw gewasmetingen 'True Love Red'



Figuur 42 Opbouw gewasmetingen 'Anthedesia White'

13.2.4 Relatie vers- en drooggewicht

Wanneer er gekeken wordt naar de relatie van vers- en drooggewicht blijkt deze bijzonder sterk (figuur 43). Dit betekent dat het mogelijk is om met goede betrouwbaarheid beide eenheden na elkaar om te rekenen. De GrowWatch software berekent het drooggewicht, hierdoor is het mogelijk tevens uitspraken te doen over het versgewicht.



Figuur 43 Relatie vers- en drooggewicht bij de verschillende rassen en teelten

13.3 Spathiphyllum

13.3.1 Opzet en meetprotocol Spathiphyllum

Bij Spathiphyllum zijn gedurende 1 jaar 2 teelten achter elkaar gemonitord bij 2 rassen. Dit betrof 555 ('Chopin'), en 2944 ('Strauss'). De teelten hebben plaats gevonden in de periode:

- Juni – december (1)
- December – 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. Pot hoogte was 15,3cm bij de 17 cm 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.

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

13.3.2 Gewaswaarnemingen teeltronde 1

De eerste teeltronde is gestart in week 16. Hierbij zijn '555' en '2944' gevolgd. Het plantmateriaal is vanuit zaaitray (390 plug) per 3 pluggen in een 17cm eind pot geplant. In tabel 18 en tabel 19 zijn het aantal week.m² bepaald per 1000 planten.

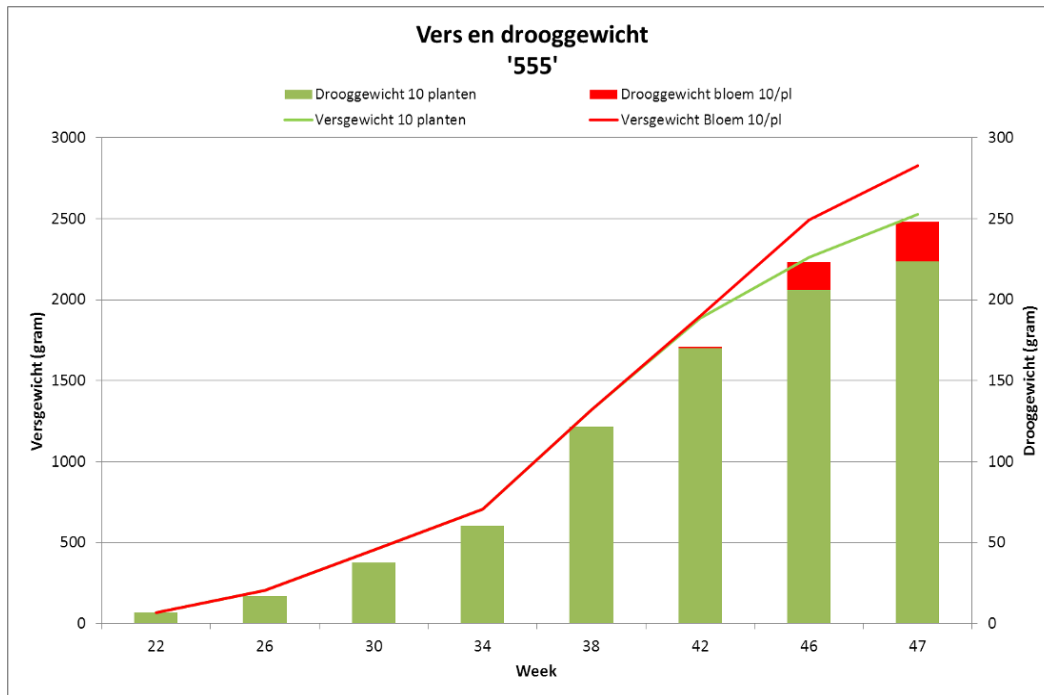
Tabel 18 Overzicht teeltschema '555' teelt 1 (week.m² per 1000 planten)

555		Teelt 1				
Week	Fase	Plantdichtheid		Weken	M ²	Week.m ²
16	Oppot	32,4	Planten/m ²	15	30,9	463,0
31	U1	16,2	Planten/m ²	7	61,7	432,1
33	GA bh.					
38	U2	10,6	Planten/m ²	9	94,3	849,1
47	Aflever.	10,6	Planten/m ²			
				31	Totaal (Week.m ²)	1744,1

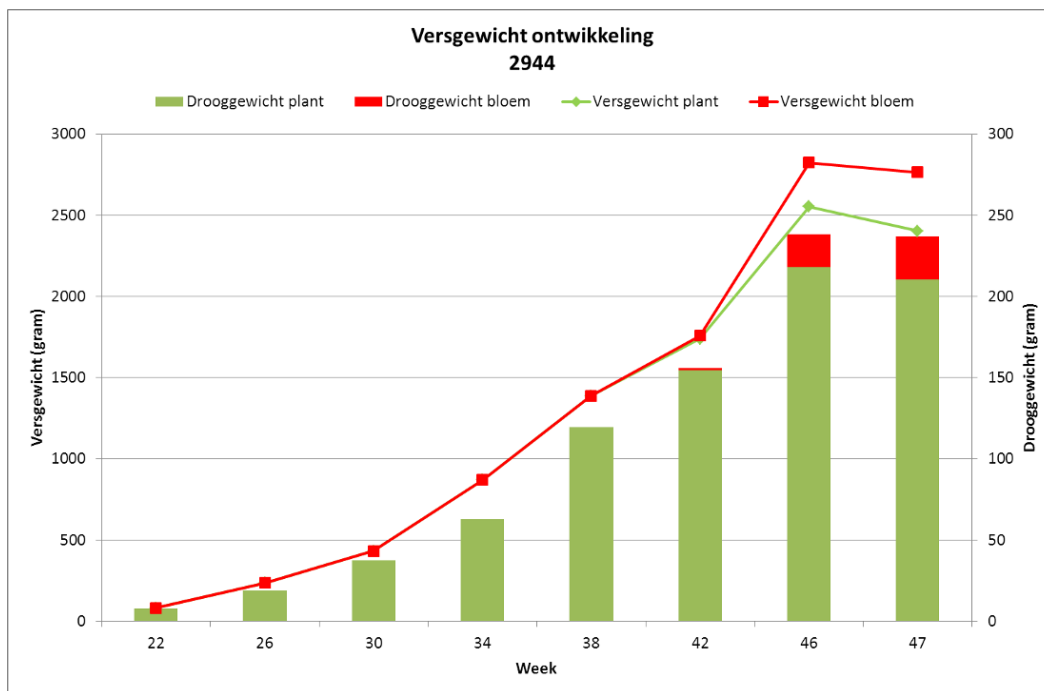
Tabel 19 Overzicht teeltschema '2944' teelt 1 (week.m² per 1000 planten)

2944		Teelt1				
Week	Fase	Plantdichtheid		Weken	M ²	Week.m ²
16	Oppot	32,4	Planten/m ²	15	30,9	463,0
31	U1	16,2	Planten/m ²	7	61,7	432,1
33	GA bh.					
38	U2	10,6	Planten/m ²	9	94,3	849,1
47	Aflever.	10,6	Planten/m ²			
				31	Totaal (Week.m ²)	1744,1

Beide rassen zijn gelijk behandeld, het teeltschema van beide teelten is dus ook gelijk. De planten zijn afgeleverd met minimaal 2 knoppen in 'kaars stadium'. Dit is wanneer een knop de vorm van een kaars heeft. Een bloem is wanneer het centrum van de knop en de kenmerkende stamper zichtbaar is. Het drogestof percentage van de planten is bij '555' gemiddeld 9,1% en bij '2944' gemiddeld 8,7%. Bij de bloemen bedraagt dit bij '555' gemiddeld 7,9% en bij '2944' gemiddeld 7,4%. In figuur 44 en figuur 45 is het verloop van vers en drooggewicht weergegeven.

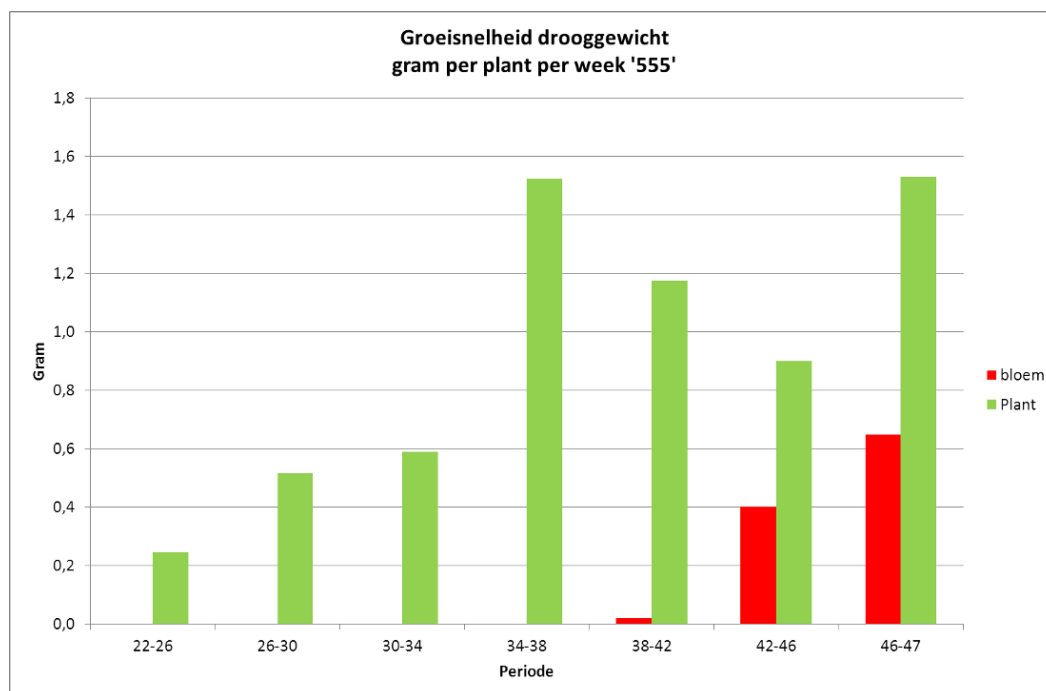


Figuur 44 Verloop vers en drooggewicht '555' per 10 planten

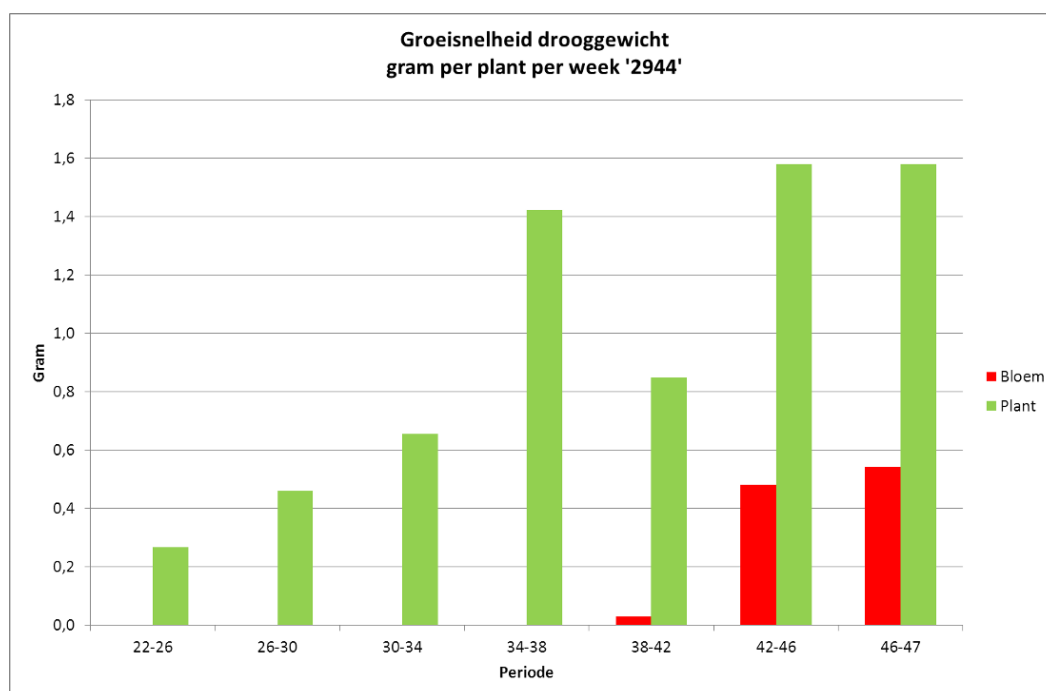


Figuur 45 Verloop vers en drooggewicht '2944' per 10 planten

Bij '2944' is er in week 47 een daling waarneembaar. Dit is te wijten aan het feit dat het gewas behoorlijk heterogeen was. Hierdoor is het mogelijk geweest dat de meetplanten een lager gewicht hadden dan de vorige meting. De opbouw van drooggewicht verschilt per periode. Dit is weergegeven voor '555' in figuur 46. Hierbij is berekend hoeveel het drooggewicht is toegenomen tussen de meetmomenten. In de periode (week 34-38) is de groei groot, mede door buitenomstandigheden. Vanaf week 38 start de bloem te ontwikkelen, dit gaat deels ten koste van de ontwikkeling van de plant. Zeker in week 42-47 gaat er veel drogestof ontwikkeling naar de bloem.



Figuur 46 Groeisnelheid in gram drooggewicht per plant per week '555'



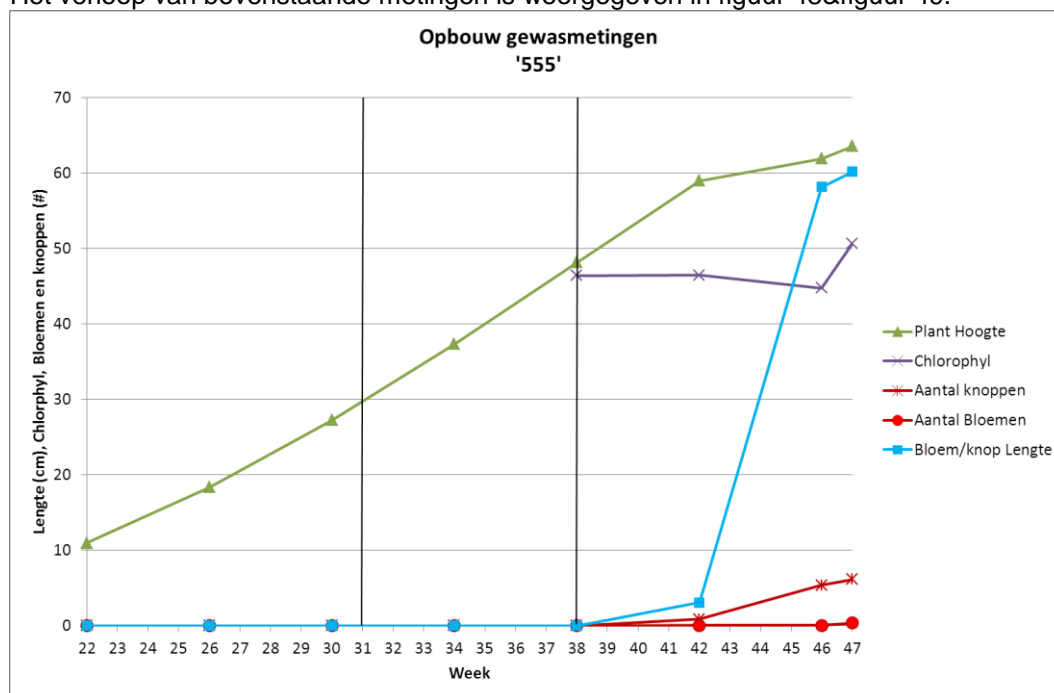
Figuur 47 Groeisnelheid in gram drooggewicht per plant per week '2944'

Bij '2944' is een vergelijkbaar beeld zichtbaar als bij '555'. Op het moment dat er bloem wordt ontwikkeld neemt de groeisnelheid van de plant duidelijk af. De opbouw van vers- en drooggewicht is bij potplanten niet het hoofddoel. De consument wil uiteindelijk een plant met sierwaarde. In tabel 20 is de toename van planthoogte, doorsnede, bladeren, aantal bloemen en bloem lengte weergegeven.

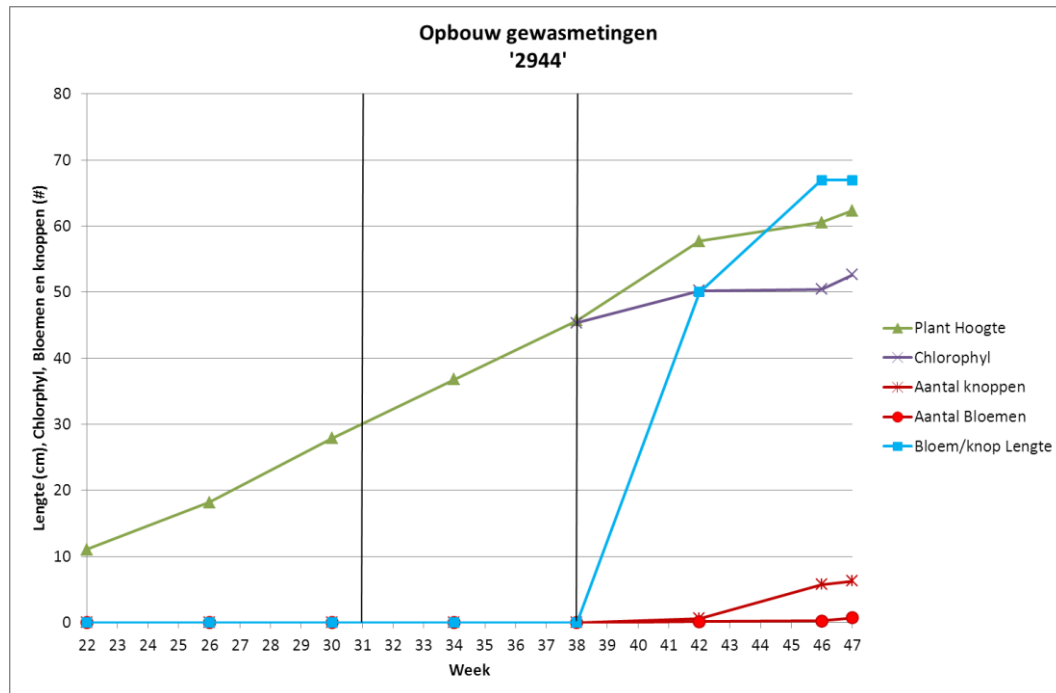
Tabel 20 Gemiddelde ontwikkeling per week

	'555'	'2944'
Plant Hoogte	2,02	1,98
Aantal knoppen	0,29	0,27
Aantal Bloemen	0,04	0,07
Bloem/knop Lengte	2,33	1,60

Het verloop van bovenstaande metingen is weergegeven in figuur 48&figuur 49.



Figuur 48 Opbouw gewasmetingen '555'



Figuur 49 Opbouw gewasmetingen '2944'

13.3.3 Gewaswaarnemingen teeltronde 2

De tweede teeltronde is gestart in week 48. Hierbij zijn wederom '555' en '2944' gevolgd. Het plantmateriaal is vanuit zaaitray (390 plug) per 3 pluggen in een 48 vakstray overgeplant. Vervolgens zijn deze overgeplant in een 17 cm eind pot. In tabel 21&tabel 22 zijn het aantal week.m² bepaald per 1000 planten.

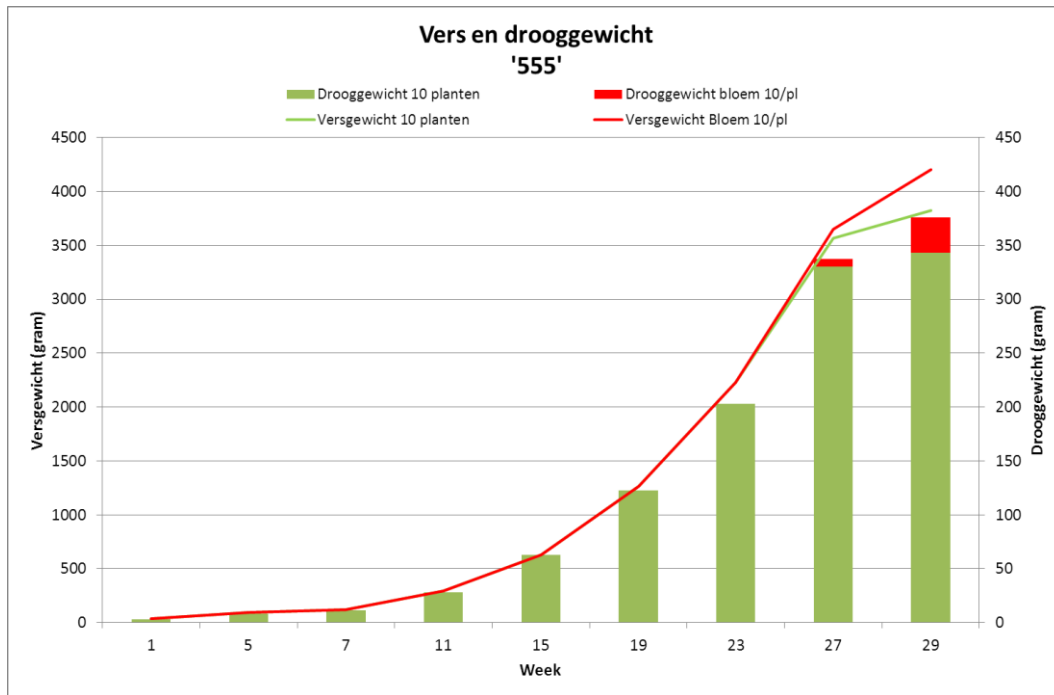
Tabel 21 Overzicht teeltschema '555' teelt 2 (week.m² per 1000 planten)

Week	Fase	Plantdichtheid	Weken	m ²	Week.m ²
48	48# tray	200 Planten/m ²	10	5,0	50,0
6	Oppot	32,4 Planten/m ²	8	30,9	246,9
14	U1	16,2 Planten/m ²	9	61,7	555,6
15	GA beh.				
23	U2	10,6 Planten/m ²	6	94,3	566,0
29	Aflever.	10,6 Planten/m ²			
			33	Totaal (Week.m ²)	1418,5

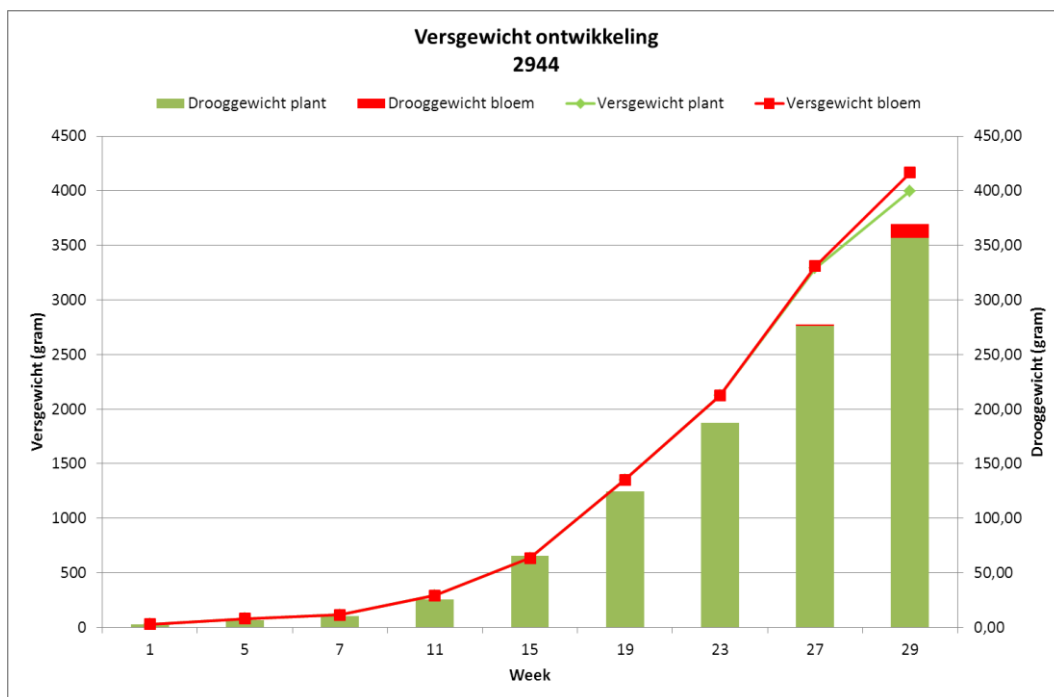
Tabel 22 Overzicht teeltschema '2944' teelt 2 (week.m² per 1000 planten)

Week	Fase	Plantdichtheid	Weken	m ²	Week.m ²
48	48# tray	200 Planten/m ²	10	5,0	50,0
6	Oppot	32,4 Planten/m ²	8	30,9	246,9
14	U1	16,2 Planten/m ²	9	61,7	555,6
15	GA beh.				
23	U2	10,6 Planten/m ²	6	94,3	566,0
29	Aflever.	10,6 Planten/m ²			
			33	Totaal (Week.m ²)	1418,5

Beide rassen zijn gelijk behandeld, het teeltschema van beide teelten is dan ook gelijk. De planten zijn afgeleverd met minimaal 2 knoppen in 'kaars stadium'. Dit is wanneer een knop de vorm van een kaars heeft. Een bloem is wanneer het centrum van de knop en de kenmerkende stamper zichtbaar is. Het drogestof percentage van de planten is bij '555' gemiddeld 9,2% en bij '2944' gemiddeld 8,9%. Bij de bloemen bedraagt dit bij '555' gemiddeld 8,6% en bij '2944' gemiddeld 7,6%. In figuur 50 en figuur 51 het verloop van vers en drooggewicht weergegeven.

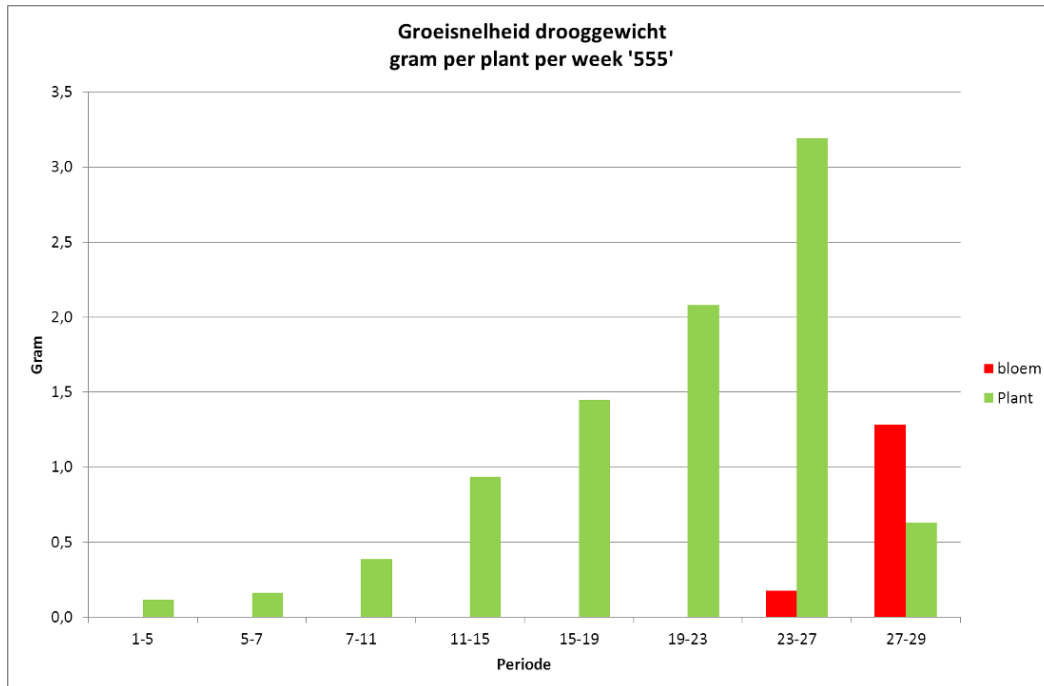


Figuur 50 Verloop vers en drooggewicht '555' per 10 planten

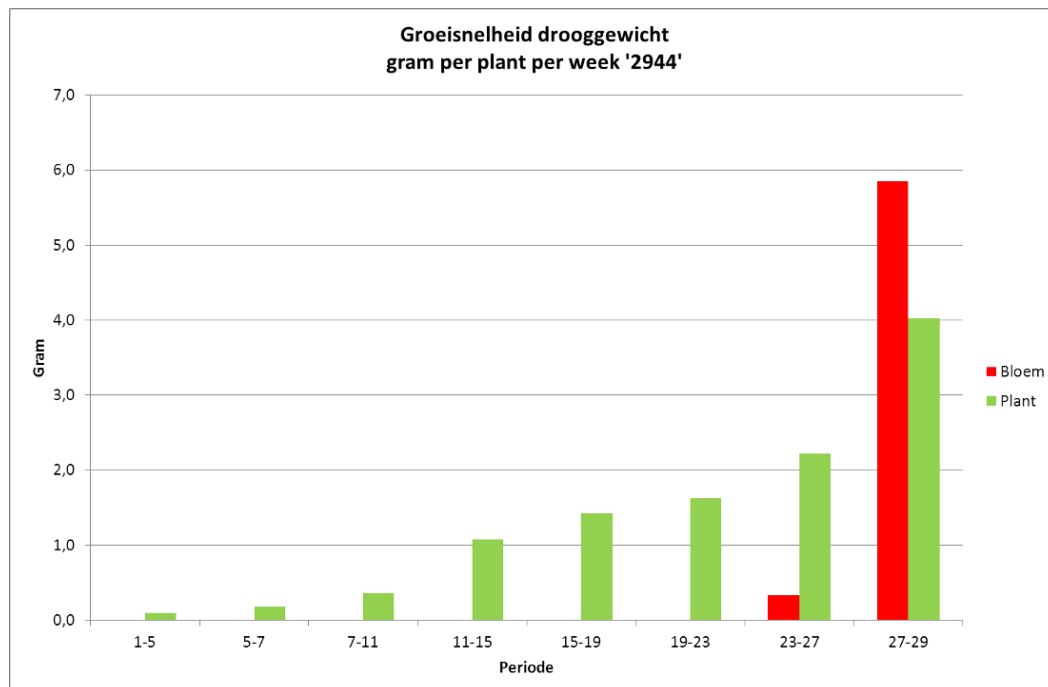


Figuur 51 Verloop vers en drooggewicht '2944' per 10 planten

De groei van beide partijen is normaal te noemen. De opbouw van drooggewicht is per periode, voor '555' in figuur 52. Hierbij is berekend hoeveel het drooggewicht is toegenomen tussen de meetmomenten. In de periode (week 23-27) is de groei groot, mede door buitenomstandigheden. Vanaf week 19 start de bloem te ontwikkelen, dit gaat deels ten koste van de ontwikkeling van de plant. Zeker in week 27-29 gaat er veel drogestof ontwikkeling naar de bloem.



Figuur 52 Groei snelheid in gram drooggewicht per plant per week '555'



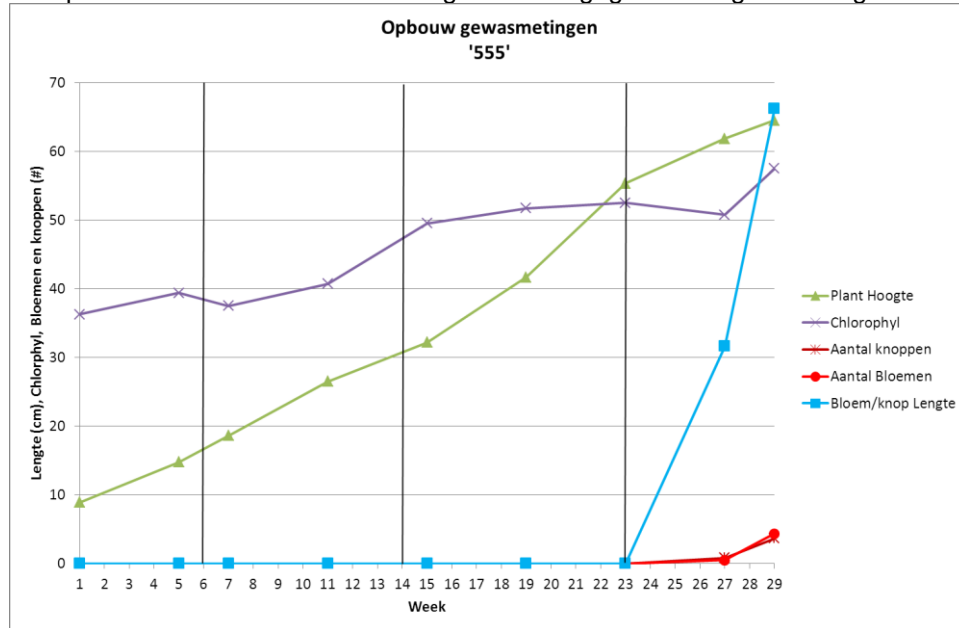
Figuur 53 Groei snelheid in gram drooggewicht per plant per week '2944'

Bij '2944' is een vergelijkbaar beeld zichtbaar. Op het moment dat er bloem wordt ontwikkeld neemt de groeisnelheid van de plant duidelijk af. De opbouw van vers- en drooggewicht is bij potplanten niet het hoofddoel. In tabel 23 is de toename van planthoogte, doorsnede, bladeren, aantal bloemen en bloem lengte weergegeven.

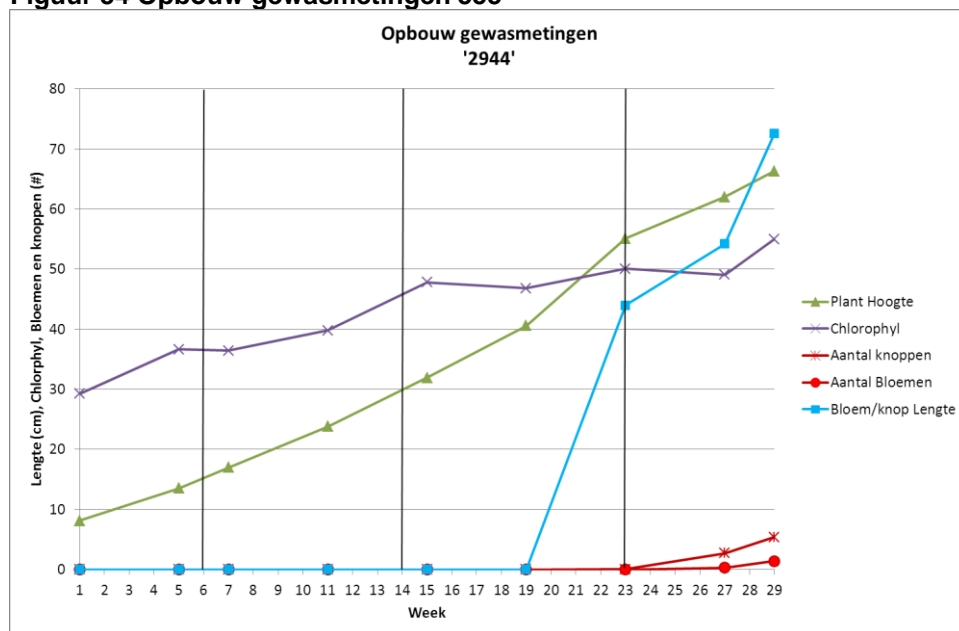
Tabel 23 Gemiddelde ontwikkeling per week

	'555'	'2944'
Plant Hoogte	2,01	2,07
Aantal knoppen	0,20	0,25
Aantal Bloemen	0,26	0,08
Bloem/knop Lengte	3,15	2,89

De opbouw van bovenstaande metingen is weergegeven in figuur 54&figuur 55.



Figuur 54 Opbouw gewasmetingen '555'



Figuur 55 Opbouw gewasmetingen '2944'