

Haalbaarheid van LED-tussenbelichting bij Roos: Praktijkonderzoek op Marjoland



Augustus 2010

G. Trouwborst, C.S. Pot en A.H.C.M. Schapendonk

Haalbaarheid van LED-tussenbelichting bij Roos: Praktijkonderzoek op Marjoland

Augustus 2010

G. Trouwborst, C.S. Pot en A.H.C.M. Schapendonk

Plant Dynamics B.V.
Englaan 8
6703 EW Wageningen
www.plant-dynamics.nl
06-21983129

REFERAAT

G. Trouwborst, C.S. Pot, en A.H.C.M Schapendonk, 2010. Haalbaarheid van LED-tussenbelichting bij roos: praktijkonderzoek op Marjoland. Plant Dynamics B.V., Wageningen. 35p.

Dit onderzoek is uitgevoerd op verzoek van de tuinbouwsector en is gefinancierd door het Productschap Tuinbouw (PT) en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) in het kader van het programma “Kas als energiebron” transitiepad “licht”.

PT projectnummer: 13844

© 2010 Wageningen, Plant Dynamics BV

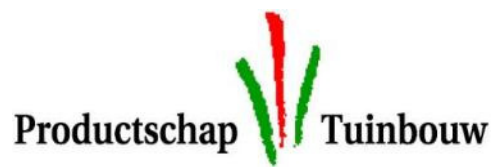
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming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

Plant Dynamics B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave, noch bij eigen gebruik noch bij het gebruik door derden.

Inhoudsopgave

INHOUDSOPGAVE	4
FINANCIERS EN SAMENWERKENDE PARTIJEN	5
SAMENVATTING	6
VOORWOORD	7
1 INLEIDING EN DOELSTELLING	8
1.1 Algemeen	8
1.2 Stuurlichteffecten met LED applicaties	8
1.3 Plaatsing lichtbron	9
1.4 Temperatuur	9
2 OPZET EXPERIMENT EN METINGEN	10
2.1 Behandelingen	10
2.2 Uitgevoerde metingen	13
3 RESULTATEN EN DISCUSSIE	14
3.1 Controle experimentele opzet en bepaling verliesposten	14
3.2 Klimaat en belichting	15
3.3 Gewasontwikkeling	16
3.4 Oogst	18
3.4.1 Jong gewas (Passion-jong)	18
3.4.2 Ouder gewas (gelijke lichtsom)	19
3.4.3 Ouder gewas (gelijk niveau tussenbelichting)	20
3.4.4 Ouder gewas (stuurlicht)	21
3.5 Fytochroomstatus en lichtspectrum	22
3.6 Energieconversie lichtsystemen	24
4 MODELBEREKENINGEN EN SCENARIOSTUDIE	25
4.1 Modelberekeningen	25
4.2 Scenariostudie – apicale dominantie	25
5 CONCLUSIES	27
REFERENTIES	29
BIJLAGEN	30
Data BCO vergaderingen	30
Explorer grafieken Passion met hoge apicale dominantie	30
Explorer grafieken Passion met lage apicale dominantie	33

Financiers en samenwerkende partijen



Ministerie van Landbouw, Natuur en
Voedselkwaliteit



PHILIPS



Samenvatting

LED-belichting is een veelbelovende techniek die naar verwachting op termijn energiebesparend zal zijn t.o.v. traditionele belichting met SON-T. LED's verschillen op allerlei gebied van SON-T belichting en kunnen veel dichter op het gewas toegepast worden. Om de gewasreacties op *LED-tussenbelichting* in de praktijk te toetsen werd gedurende het belichtingsseizoen 2009/2010 een experiment uitgevoerd bij Marjoland te Waddinxveen aan roos (Passion). Doelstelling van dit onderzoek was een meerproductie te realiseren door een betere lichtverdeling in het gewas en daarmee de fotosynthese-efficiëntie. Daarnaast is onderzocht of knopuitloop en daarmee de uitgroei van nieuwe scheuten kon worden gestimuleerd door diep in het gewas te belichten.

In dit experiment zijn een aantal vergelijkingen uitgevoerd:

1. LED tussenbelichting (43 of $86 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) in combinatie met topbelichting (SON-T) met een gelijke lichtsom ten opzichte van een controle ($226 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T topbelichting);
2. Een gelijk niveau tussenbelichting ($43 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) met verschillende niveaus topbelichting;
3. Stuurlichteffecten met $21 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ rood of een mix van rood/blauw licht als tussenbelichting.

Op basis van de behandelingen met een gelijke lichtsom kwam naar voren dat de positie van het licht ondergeschikt was aan de lichtsom, tussenbelichting was niet productiever dan topbelichting. Hierbij moet nadrukkelijk vermeld worden dat het gewas sterk op snee stond en zo niet altijd van tussenbelichting gesproken kon worden: gedurende ongeveer de helft van de snede stond het gewas namelijk 'leeg' en fungeerde de tussenbelichting als topbelichting die tevens gedeeltelijk het gewas beschaduwde met betrekking tot daglicht en SON-T licht.

Een hoger niveau topbelichting bij een gelijk niveau tussenbelichting gaf een hogere productie met een lagere lichtbenutting (gram/mol daglicht + assimilatielicht). Een lager niveau van bijbelichting gaf een hogere lichtbenutting dan de controle. Dit suggereert dat de hoeveelheid bijbelichting van de controle (duur of niveau) boven het optimum (maximale lichtbenutting) lag.

Tussenbelichten met een laag lichtniveau ($21 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$; stuurlicht) had een positief effect en verhoogde de productie met 7-8% ten opzichte van de controle. De lichtbenutting steeg in deze behandelingen boven alle andere behandelingen uit en laat zien dat het lichtniveau van de SON-T lampen bij de controle in principe nog niet over het optimum heen is. Dit positieve effect van stuurlicht kan slechts gedeeltelijk toegeschreven worden aan de verhoogde lichtsom, mogelijk ligt de verklaring in een stuurlichteffect op extra scheutuitloop.

Scenariostudies met het 'Explorer roos' model wezen uit dat meerproductie door (tussen)belichting sterk afhangt van de mate waarop een gewas 'op snee' staat. Staat het gewas 'op snee' dan heeft tussenbelichting maar een zeer beperkte toegevoegde waarde. Als het gewas juist een lage apicale dominantie heeft (zoals 'Avalanche') dan is een productieverhoging van 30% mogelijk voor alle behandelingen. Dit laat zien dat scheutuitloop bij 'Passion' een sleutelfactor voor productieverhoging is. Tevens is dan de tussenbelichting door een betere lichtonderschepping veel effectiever (10%).

Door tussenbelichting veranderde het lightspectrum dieper in het gewas ten gunste van een hogere rood/verrood verhouding. Ook was afhankelijk van lichtniveau tussenbelichting de luchttemperatuur rondom de knippunten $0.5 - 1^\circ\text{C}$ hoger dan bij de controle. Beide hebben theoretisch een positief effect op scheutuitloop, wat echter in de proef niet terug kwam. De gedachte dat door tussenbelichting gemakkelijker 'uit snee' is te telen kon dan ook niet worden aangetoond. De gevonden effecten van tussenbelichting op de productie waren grillig en varieerden per snee. Het bleek dat dit soort mechanistische processen lastig naar boven zijn te halen in een praktijkproef. Ook gaf het systeem in de huidige vorm te veel schaduw en werden opgaande takken soms fysiek gehinderd. Beide factoren kunnen geminimaliseerd worden door de LED modules zo smal mogelijk te maken.

Voorwoord

In de hele maatschappij zijn toepassingen van LED-belichting in opmars, zo ook in de glastuinbouw. De verwachting is dat dit leidt tot energiebesparing in vergelijking met de tot dusver toegepaste lichttechnologieën. In een aantal toepassingen in de tuinbouw is nu al een sterke energiebesparing mogelijk ten opzichte van traditionele belichting (bijv. meerlagenteelt met TL). Echter voor belichting in de kas zullen de eerste toepassingen van LED belichting niet een 1 op 1 vervanging van SON-T zijn. Voor tuinders zijn er simpel gezegd 3 dingen belangrijk bij belichting: Wat kost het, wat verbruikt het en wat levert het op in mijn gewas. Het energieverbruik kan door LED's te gebruiken minder zijn, de aanschaf is echter nog steeds een heel stuk hoger. Dat gat kan gedicht worden door op een goede manier gebruik te maken van de extra voordelen van LED's zoals lightspectrum, vormfactor en gemis aan warmtestraling. Dit biedt veel mogelijkheden en kansen om extra waarde in de teelt te creëren (onder andere snellere en of hogere productie, betere kwaliteit, energiebesparing, ruimtebesparing etc.). Het vergt wel een andere manier van telen.

Doordat er positieve resultaten zijn behaald met hybride belichting (SON-T topbelichting in combinatie met tussenbelichting met LED's) bij tomaat, is er gekeken of dezelfde techniek van tussenbelichting ook toepasbaar is in de rozenteelt. Door tussenbelichting ontstaat er bij de rozenteelt een extra kans om energie te besparen omdat tussenbelichting een positief sturend effect kan hebben op de uitloop van nieuwe scheuten. Om dit te toetsen is er door Philips, Marjoland en Plant Dynamics in het belichtingsseizoen van 2009/2010 een tussenbelichtingsexperiment met LEDs in combinatie met bovenbelichting met SON-T gestart waarbij het doel was de plantbalans en uitloop van nieuwe scheuten te bevorderen.

De proefopzet werd gefinancierd door Philips. Marjoland stelde het gewas beschikbaar en verzorgde de oogstregistraties en gewasmanagement. Het experiment werd begeleid door Plant Dynamics, gefinancierd door PT en LNV in het kader van het programma "Kas als energiebron", transitiepad "licht".

We willen de volgende personen met name bedanken voor hun betrokkenheid en inzet bij het experiment: Familie van de Nouweland en medewerkers van Marjoland, Esther van Echtelt, Christina Tanase en Udo van Slooten van Philips.

Augustus 2010,
Govert Trouwborst, Sander Pot en Ad Schapendonk

1 Inleiding en doelstelling

1.1 Algemeen

Bijbelichting in de tuinbouw is een belangrijke kostenpost maar levert de mogelijkheid om jaarrond goede kwaliteit producten te leveren. Een belangrijk doelstelling van het programma 'Kas als Energiebron' waarvan PT en LNV initiator, trekker en financier van zijn, is het totale energieverbruik en de energieverbruik per kilo product terug te dringen.

Bij roos is een goede plantbalans en gecontroleerde scheutuitloop vaak een probleem. Dit is een ingewikkeld proces en het mechanisme hierachter verdient meer aandacht en inzicht. Door gericht te belichten is de verwachting dat de plantbalans en scheutuitloop beter kan worden gestuurd, waarmee de productie beter kan worden gecontroleerd. Hierbij is het van belang onderscheid te maken in de positionering van het licht (in dit geval worden LED's toegepast tussen het gewas: tussenbelichting) en de invloed van het licht als groeilicht of stuurlicht. In dit onderzoek wordt inzicht verkregen hoe bovenstaande ingrijpt op plantbalans en scheutuitloop. Indien stuurlicht een belangrijke factor blijkt te zijn, zal mogelijk minder belicht kunnen worden door alleen te belichten op de effectieve momenten. Dit zou een aanzienlijke energiebesparing kunnen opleveren.

De doelstelling van dit onderzoek was een mechanistische aanpak van tussenbelichting bij roos, waarbij onderscheid werd gemaakt tussen groeilicht-, stuurlicht- en temperatuuffecten binnen een gewas. Processen als plantbalans en vorming van nieuwe scheuten + uitgroei werden gevolgd in relatie tot verschillende vormen van tussenbelichting in combinatie met SON-T bovenbelichting. Hierdoor ontstaat meer inzicht hoe deze processen worden gestuurd en of dit mogelijkheden biedt voor efficiëntere vormen van belichting in de praktijk. Het rekenmodel Explorer Roos werd gebruikt om de productie op procesniveau in relatie tot de verschillende behandelingen door te rekenen.

Rozenkwekerij Marjoland (van de Nouweland) ziet goede mogelijkheden tot productieverhoging bij roos door tussenbelichting met LED. Lopend onderzoek bij tomaat heeft aangetoond dat door LED's in het gewas te plaatsen het licht efficiënter benut wordt waardoor een productieverhoging van 15% te realiseren is (Pot en Schapendonk, 2009). Uit lopend onderzoek met LED's bij roos (Zuurbier) blijkt ook een productie verhoging gedurende de belichtingsperiode haalbaar. Deze productieverhoging komt vooral tot uiting in meer takken en minder in takgewicht (Sterk et al. 2010). Hierbij ontstaat de vraag hoe de verschillen in plantreactie tot stand komen en of er sprake is van rasverschillen. Enerzijds kan het zijn dat er betere lichtonderschepping en verdeling van het licht in het gewas plaats vindt, anderzijds kunnen ook mechanismen als plantbalans en scheutuitloop beïnvloed worden door plaatselijk spectrale verschillen (stuurlicht) of verschil in microklimaat. Meer inzicht in dit mechanisme en eventuele rasverschillen is een voorwaarde om LED-belichting in de toekomst optimaal bij roos te kunnen inzetten.

1.2 Stuurlichteffecten met LED applicaties

De op zich probleemloze teelt met SON-T en de hoge intensiteiten die toegepast worden en die daardoor te hoge operationele kosten voor LED-belichting met zich mee brengen zijn de reden dat van LED toepassing puur voor assimilatielicht boven het gewas op dit moment nog weinig is te verwachten. De flexibiliteit van LED's biedt echter wel perspectieven voor een slimme positionering en stuurlicht toepassingen. Door het gemis aan warmtestraling kan met LED bovendien het warmteprobleem worden verminderd (zie 1.3 en 1.4). Een aanknopingspunt is het belichten onderin het gewas waarbij meer direct licht op de okselknoppen en nieuwe scheuten valt. De reden hiervoor is de selectieve absorptie van rood licht in een dicht gewas waardoor de rood/verrood (R/VR)

verhouding onderin sterk afneemt. Door onderin een dicht gewas met rode LED's bij te belichten wordt de verhouding R/VR hoger, wat de uitloop van jonge scheuten kan bevorderen (Mor & Halevy, 1984).

Toevoeging van blauw licht vermindert de strekkingsgroei en geeft dikkere donkergroene bladeren. Het wegfilteren van blauw licht uit het spectrum van witte TL buizen leidt tot een sterke toename van de strekkingsgroei van roos (Maas & Bakx, 1995). Proeven in kassen waarbij bepaalde delen van het zonlichtspectrum met gekleurde folies of vloeistoffilters werden tegengehouden, hebben laten zien dat planten compacter groeien naarmate het aandeel blauw licht toeneemt en de hoeveelheid verrood licht afneemt.

1.3 Plaatsing lichtbron

Voor roos is er naast stuurlichteffecten nog een aanknopingspunt voor productieverhoging door de plaatsing van de lichtbron. Uit het onderzoek Paspoort Roos (Schapendonk et al. 2009) komt het belang van het ingebogen blad en vooral de fotosynthese efficiëntie daarvan duidelijk naar voren. Rassen waarbij het ingebogen blad vaak wordt 'ververst' hebben meer scheutuitloop en grotere scheuten. Het is opvallend dat er een zeer grote variatie is met betrekking tot de fotosyntheseactiviteit van het ingebogen blad. Er zijn aanwijzingen gevonden dat dit wordt veroorzaakt door de snelheid waarmee het bladpakket veroudert en de snelheid waarmee het pakket via inbuigen wordt ververst. Selectieve belichting van het ingebogen blad kan de veroudering tegengaan. Uit eerdere metingen die Plant Dynamics heeft gedaan met mobiel SON-T licht blijkt dat er winst is te behalen door meer licht tussen de rozenbedden te brengen (Schapendonk, 2005). De opwarming van het gewas werd voorkomen door de lampen te bewegen. Met LED's is stralingswarmte geen issue en kan zonder problemen een optimale configuratie dicht op het gewas worden gekozen.

1.4 Temperatuur

Met LED's loopt de temperatuur in het gewas naar verwachting minder hard op dan met SON-T. Bij teveel warmte rijpen de scheuten te snel af, wat leidt tot een piek in de productie. Na zo'n warmteperiode neemt de productie snel af. De snelle terugval van de wortelcapaciteit en het bladpakket resulteert in een negatieve terugkoppeling op de groei.

Ook kan de kwaliteit van de knippunten te ver teruglopen. Dit is mede bepalend voor toekomstige productiecycli. Wanneer de warmte van assimilatiebelichting in de kas laag is, kan direct worden ingespeeld op de onbalans in de plant. De groei en ontwikkeling van de plant vormen de basis van nieuwe teeltconcepten. De balans tussen groei en ontwikkeling is een balans tussen fotosynthese enerzijds en groei en knopvorming anderzijds. De fotosynthese is sterk afhankelijk van het licht en CO₂. Bij knopvorming en scheutuitloop zijn vooral de temperatuur en de lichtkleur van belang. Temperatuur is de belangrijkste factor om het evenwicht te bewaren tussen groei en ontwikkeling (Schapendonk et al. 2009; Schapendonk en Rappoldt, 2010). Met LED's kan aanvullend op temperatuur gericht gestuurd worden met lichtkleur.

2 Opzet experiment en metingen

2.1 Behandelingen

Het experiment is uitgevoerd op Marjoland 4 met *Rosa hybrida* 'Passion'. De plantdatum was week 29 van 2009. In week 35/36 werden de eerste takken geoogst. De plantdichtheid was 7.8 planten/m². De bovenbelichting werd gestart in week 38 (226 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$ bovenbelichting met Greenpower SON-T 1000W/400V). Vanaf week 47 schakelde de LED-tussenbelichting (Philips Greenpower LED Production modules; engineering samples 2009) automatisch mee met de SON-T bovenbelichting. De oogstregistratie werd in week 48 gestart. Het gewas had op dat moment twee sneden gehad. Aanvullend is tussenbelichting toegepast bij een jonger Passion gewas (planting week 50), welke vanaf het begin zijn blootgesteld aan LED belichting.

Het experiment kende 11 behandelingen verdeeld over vier clusters. Per cluster was er een ander onderzoeksdoel:

- Behandelingen A, I en K waren gericht op de fotosynthese-efficiëntie van het gewas in relatie tot lichtverdeling en lichtintensiteit van de tussenbelichting in het gewas. De lichtsommen van deze behandelingen waren gelijk. A was hierbij de controle zonder tussenbelichting.
- Behandelingen D, J en K gaven inzicht in effecten van meer of minder SON-T bovenbelichting (en minder warmtestraling) in combinatie met een gelijke hoeveelheid LED-licht in het gewas op efficiëntie van de productie en scheutuitloop.
- Behandelingen (B en C) gaven inzicht in de stuurlichteffecten van minimaal LED-licht en het verschil tussen puur rood en toevoeging van blauw licht op scheutuitloop, ontwikkeling en kwaliteit van de rozen.
- Een aantal behandelingen (E, F, G, H) is bij nieuwe aanplant van Passion (Passion-jong) uitgevoerd. Vanwege positie van dit gewas in de kas werd gekozen voor LED tussenbelichting met verschillend lichtniveau bij gelijke bovenbelichting met SON-T. H was hierbij de controle zonder tussenbelichting. In eerste instantie waren deze behandelingen tegelijkertijd met de andere behandelingen op een tweede ras (*Rosa hybrida* 'Climax') ingezet. Echter op 10 december 2009 (week 50) werd dit ras naar een andere afdeling verplaatst en vervangen door jonge aanplant van Passion. Voor wat betreft de effecten van tussenbelichting bij Climax, was de oogstperiode te kort om betrouwbare resultaten te genereren. De nieuwe aanplant bleek een waardevolle aanvulling in de proef, omdat het gewas vanaf het begin werd blootgesteld aan LED tussenbelichting en een goed beeld gaf van de plantontwikkeling.

De verschillende behandelingen met de gemeten lichtniveaus staan weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Behandelingen in het experiment.

Ras	Plot Code	Behandeling	Aantal planten	SON-T ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)**	LED ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	lichtsom ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
Passion	A	Controle: SON-T	480	226	0	226
Passion	B	Combi SON-T/LED rood	96	226	21	247
Passion	C	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	96	226	21	247
Passion	D	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	480	226	43	269
Passion-jong*	E	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	96	218	86	304
Passion-jong*	F	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	96	222	43	265
Passion-jong*	G	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	96	222	21	243
Passion-jong*	H	Controle: SON-T	96	222	0	222
Passion	I	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	96	135	86	221
Passion	J	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	480	135	43	178
Passion	K	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	480	179	43	222

*De aanduiding Passion-jong (of jonger gewas) wordt gedurende het hele rapport gehanteerd.

Uiteindelijk loopt Passion (ouder gewas) drie sneden (ongeveer 18 weken) voor op Passion-jong.

**Het lichtniveau van de bovenbelichting bij de behandelingen I t/m K werd gerealiseerd door dimming van Philips GreenVision DIM 1000W systemen.

Om de proef behapbaar te houden is er onderscheid gemaakt tussen 2 groottes proefvelden:

- Veldgrootte: ± 30 m lengte (480 planten): bij deze behandelingen werden de grootste effecten (gecombineerd scheutuitloop en efficiënter lichtgebruik door plant) verwacht, de kans op significante verschillen in oogstresultaten was hier het grootst.
- Veldgrootte: ± 6 m lengte (96 planten) ter indicatie: hier werden wel metingen gedaan die hielpen ter ondersteuning en begrip van de effecten van LED tussenbelichting op scheutuitloop en plantbalans.

Bij het oudere Passion gewas waren de behandelingen verdeeld over 3 teeltbedden en bij Passion-jong (E t/m H) over 2 teeltbedden (Fig. 1&2). Bij elke behandeling werden de geoogste takken per pad verzameld. Dit betekende dat de waarnemingen bij Passion in tweevoud werden uitgevoerd en bij Passion-jong in enkelvoud.

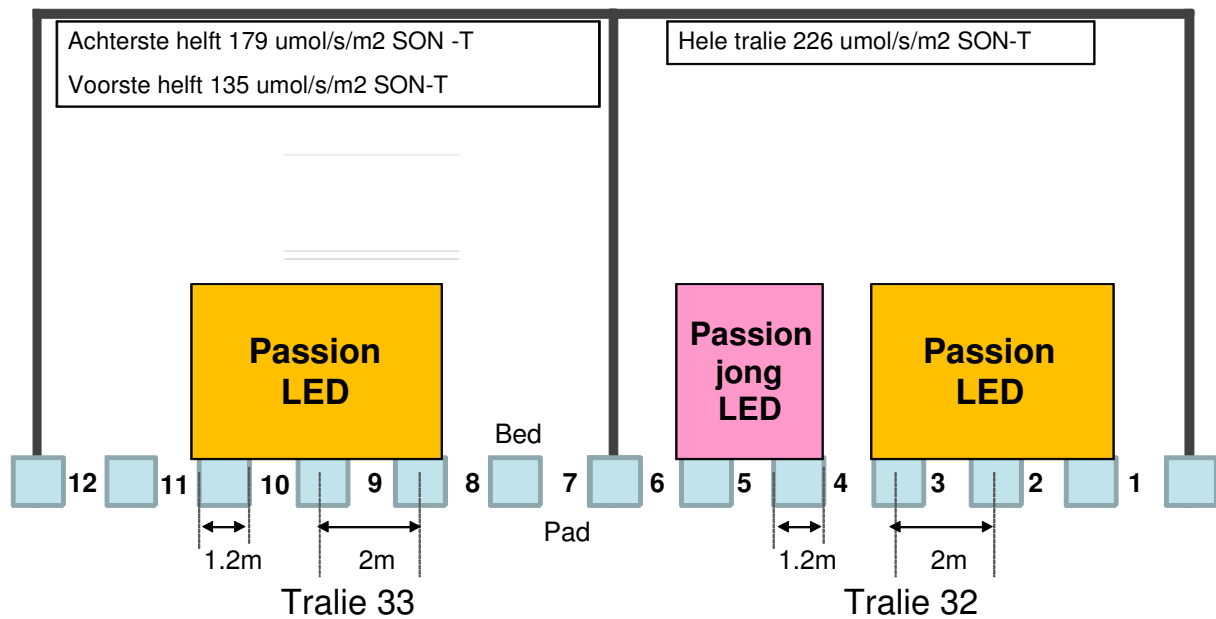


Fig. 1. Zijaanzicht vanaf het pad.

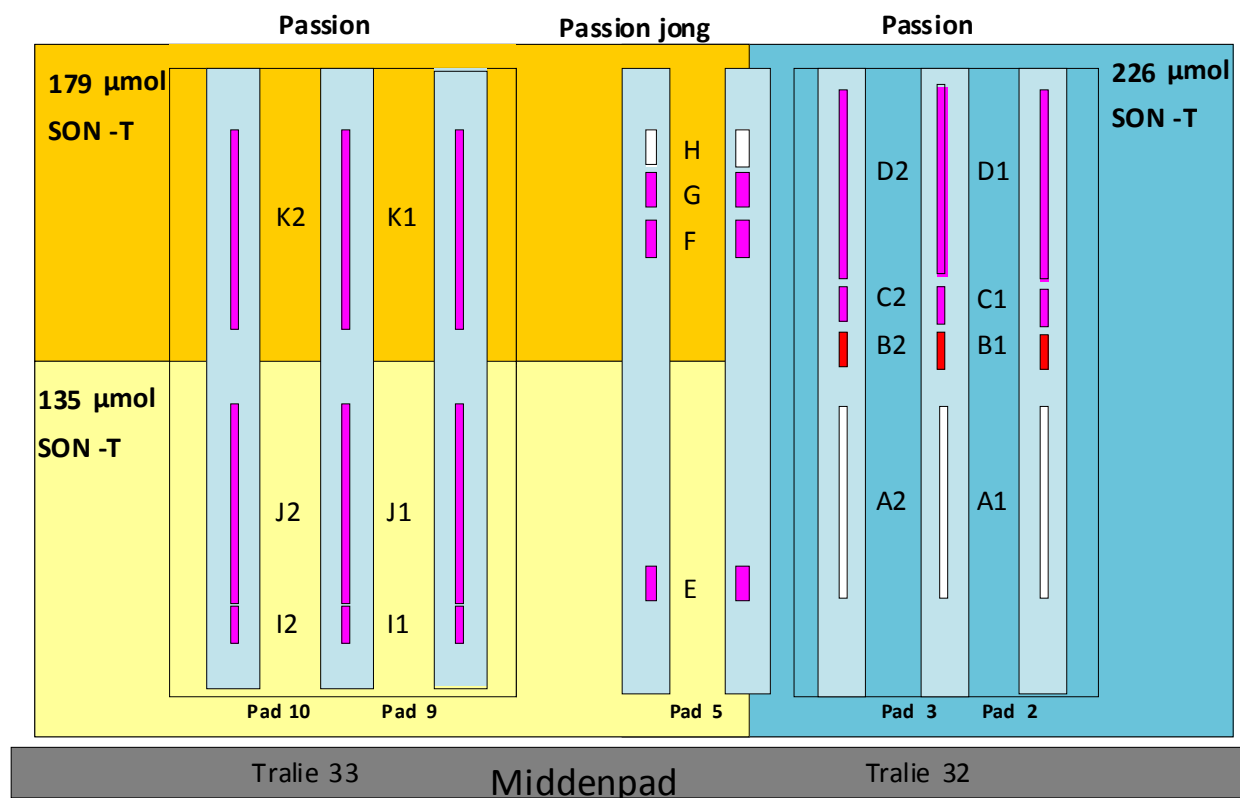


Fig. 2. Plattegrond van de proefvelden in de kas

De ideale hoogte voor de tussenbelichting hangt af van het doel van de proef. In dit onderzoek ging het om stimulering van scheutuitloop en belichten van ingebogen blad. Om deze reden werd de tussenbelichting diep in het gewas geplaatst. Voorwaarde was wel een compacte installatie met een uniforme neerwaartse uitstraling naar weerskanten van het gewas (V-vorm). Door middel van lichtmetingen ter plaatse werd de optimale hoogte vastgesteld op 25-30 cm boven het ingebogen blad onder een hoek naar beneden schijnend van 45° (Fig. 3). Om technische redenen werden de LED

modules van behandeling B (LED rood) niet onder een hoek van 45° gepositioneerd, maar schenen recht naar beneden. Dit betekende dat dit licht minder goed verdeeld werd over de 4 plantrijen en mogelijk negatief van invloed kon zijn op het uiteindelijke behandelingseffect.

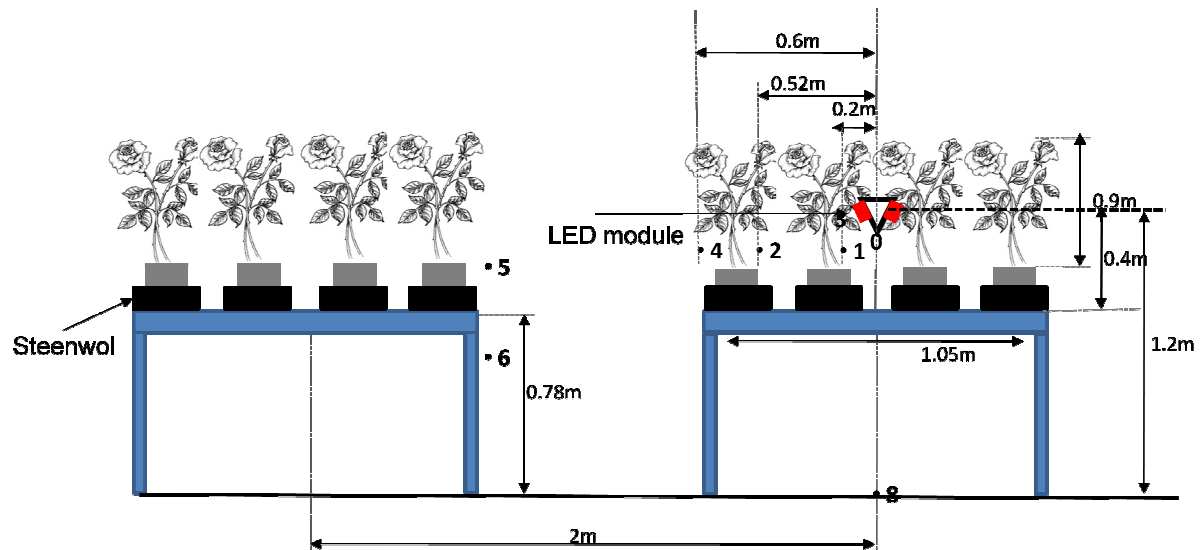


Fig. 3. Positionering van de LED-modules in het gewas

2.2 Uitgevoerde metingen

Klimaat

- Lichtmetingen van SON-T en LED (start en eind)
- Spectrale metingen
- Klimaatdata klimaatcomputer (5 minuten waarden; LetsGrow)
- Luchttemperatuurmetingen op verschillende hoogtes in het gewas met Wisensys sensoren

gewas

- Lengtemetingen (4*)
- Loostellingen: (2*) (momentopname, ter indicatie van behandelingseffecten)
- Drogestof meting en verdeling van oogstbare takken (n=8)
- Oogstregistratie (Marjoland)
- Explorer roots (met input van bovenstaande gemeten data en van fotosynthese gegevens uit het "paspoort roots" experiment)

3.2 Klimaat en belichting

Gedurende het experiment stond het gewas sterk op snee. Gemiddeld duurde een snee 6 weken. De vierde snee, net voor Moederdag, duurde een week korter. Fig. 5. geeft de belichtingsuren per week en de PARsom van het daglicht in de kas weer. In Fig. 6 is de totale PARsom per snee inclusief de onderverdeling in lamplicht en daglicht weergegeven voor de controle behandeling (A). In de eerste 2 snedes was het aandeel lamplicht 80%, in de derde snee was het aandeel lamplicht 50% en in de 4^e en 5^e snee was het aandeel lamplicht 25%. Voor de behandelingen B, C en D die een hogere lamplichtintensiteit hadden als de controle was het aandeel lamplicht iets hoger.

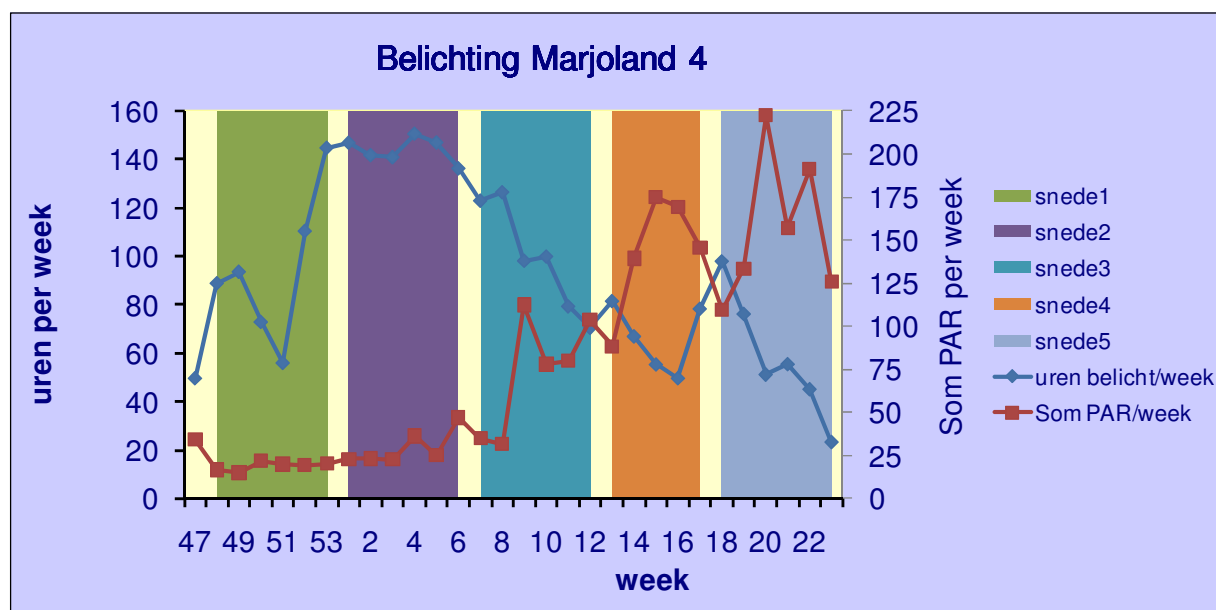


Fig. 5. Uren belicht en PARsom per week, de opeenvolgende snedes zijn in kleur weergegeven.

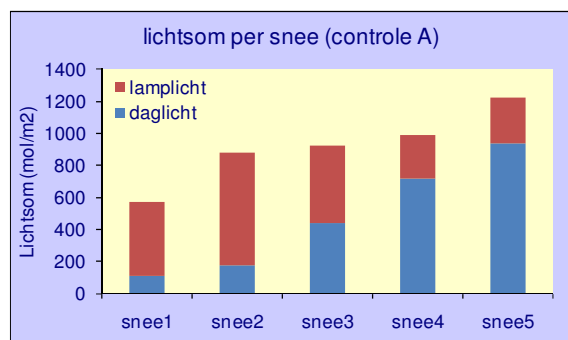


Fig. 6. Totale lichtsom per snee voor de controle behandeling (A).

Tussenbelichting brengt niet alleen meer licht maar mogelijk ook een hogere temperatuur dieper in het gewas. Om een beeld te krijgen van temperatuursverschillen tussen de behandelingen is het temperatuurprofiel per behandeling gemeten. De metingen zijn uitgevoerd op 3 hoogtes in het gewas in de periode 16-12-09 t/m 23-12-09. In deze periode zijn data geselecteerd uit de lichtperiode met uitsluitend kunstlicht. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3. Bij alleen SON-T was de luchttemperatuur rond de kop circa 0.4 °C hoger dan bij het ingebogen blad. Opwarming van de luchttemperatuur bij het ingebogen blad was door de LED modules 0.5 tot 1 °C hoger dan bij alleen SON-T. Bij LED tussenbelichting was de luchttemperatuur rond het ingebogen blad warmer dan bij de kop. Er werden echter geen meetbare effecten van deze verschillen in temperatuur op de scheutuitloop waargenomen. Door de hogere temperatuur was wel de RV lager wat de kans op natslaan van het gewas en daarmee de kans op ziektedruk verkleint.

Tabel 3. Luchttemperatuur in Passion-jong (gemeten met wisensys sensoren). De data hebben betrekking op periodes zonder daglicht. Het SON-T toplichtniveau was 222 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Positie \ behandeling	SON-T	SON-T+21 LED	SON-T+43 LED	SON-T+86 LED
Top gewas	20.7	20.4	20.2	20.8
Halve hoogte	20.5	20.6	20.4	21.1
Ingebogen blad	20.3	20.9	20.9	21.7
% RV in gewas	71.5			64.3

3.3 Gewasontwikkeling

Gedurende snee 3 werden van een selectie van de behandelingen het % drogestof en de gewichtsverdeling per tak over bloem, blad en stengel bepaald. Tussen al deze kenmerken zijn geen significante verschillen gevonden (Fig. 7).

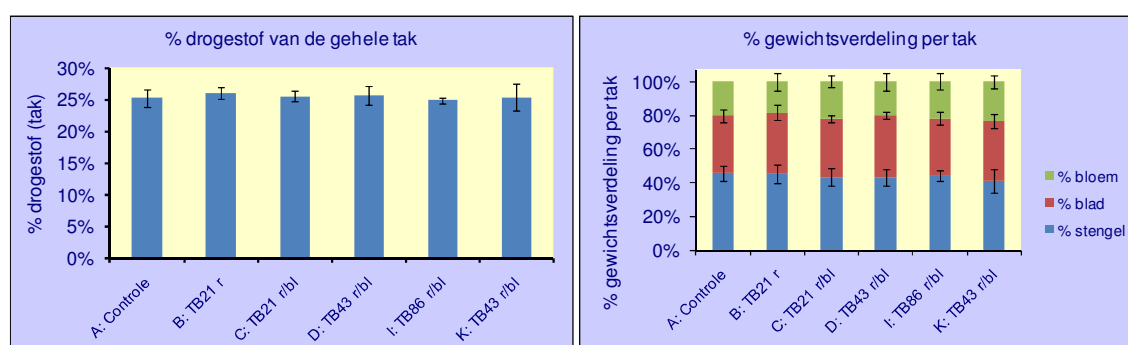


Fig. 7 % drogestof en gewichtsverdeling per tak, verticale balkjes geven de SE weer (n=8).

De gemiddelde taklengte van Passion lag tussen de 70-80 cm. Er werden geen duidelijke patronen tussen de behandelingen van het oudere gewas gevonden (Fig.8). Op 4 momenten zijn metingen uitgevoerd. Het jonge gewas was voor de eerste twee metingen wat korter dan het oudere gewas, voor de laatste twee metingen lag het gemiddelde ook tussen de 70-80cm. Voor het jongere gewas was de trend dat minder tussenbelichting (en dus lagere lichtsom) een iets langere tak gaf. Bij het oudere gewas ontbreekt dit patroon geheel.

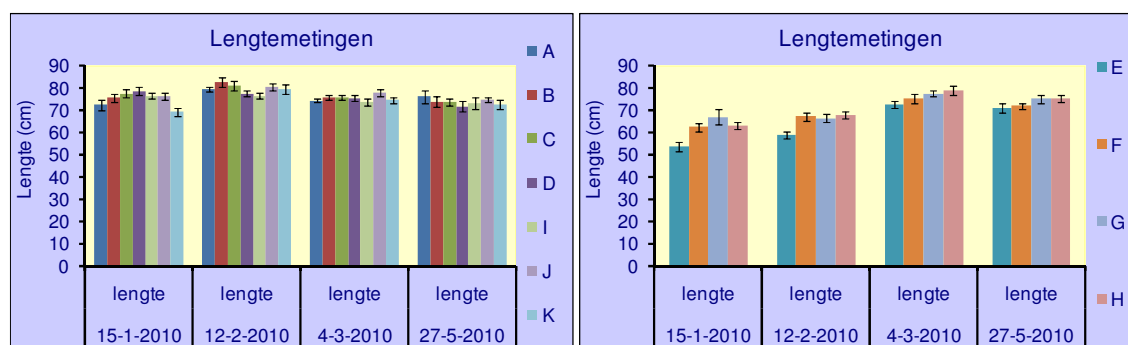


Fig. 8. Gemiddelde taklengtes op verschillende meetdagen, Links: oudere gewas; Rechts: jonge gewas, verticale balkjes geven de SE weer (n=10).

Het gemiddelde takgewicht voor het oudere gewas lag tussen de 45-50 gram, ook hier was geen duidelijke trend tussen de behandelingen (Fig. 9A). Het jonge gewas kwam tegelijkertijd met de tweede geregistreerde snee van het oudere gewas in productie. In verband met de consistentie van de figuren (zie Fig. 5) start het takgewicht van het jonge gewas met de aanduiding snee2 (Fig. 9B). Het gemiddelde takgewicht van het jongere gewas lag bij snee2 en snee3 wat hoger, waarbij tevens

bij aflopend niveau tussenbelichting en lichtsom (E→H) de takken zwaarder waren. De controle (H) zonder tussenbelichting gaf de zwaarste takken. Dit effect verdween bij snee4 en snee5. Waarschijnlijk werd dit veroorzaakt doordat het aandeel lamplicht toen gedaald was tot nog maar 25% van de totale lichtsom zodat de verschillen tussen de behandelingen in totale lichtsom per snee steeds kleiner werden.

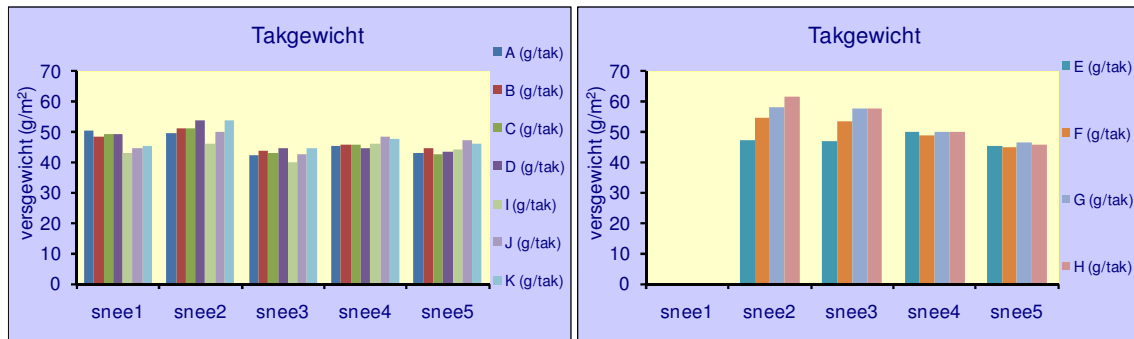


Fig. 9. Gemiddeld takgewicht per snee.

Gedurende het experiment is er tijdens snee2 en snee5 een telling naar het % loze takken uitgevoerd. Gedurende deze snedes lag het % loos op respectievelijk 2-5% en 4-8%. Tussen de behandelingen werden er geen significante verschillen gevonden. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat periodiek door medewerkers van Marjoland loze takken worden geknipt in de hele kas (dus ook in de proef). Bij de tellingen is gepoogd hiermee rekening te houden, maar dit betekent wel dat een nauwkeurige registratie van % loos niet mogelijk was.

3.4 Oogst

3.4.1 Jong gewas (Passion-jong)

Het jonge gewas kwam tegelijkertijd met de tweede geregistreerde snee van het oudere gewas in productie. In verband met de consistentie van de figuren (zie Fig. 5) start de productie met de aanduiding snee2. In Fig. 10 is de oogst per snee weergegeven. Alle behandelingen lieten een toename in productie zien over de tijd. De LED belichting was additief en een hoger niveau tussenbelichting liet dan ook een verhoogde productie zien t.o.v. de controle (H). De % toename in productie in kg en aantal van de behandeling met 43 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ tussenbelichting (F) t.o.v. de controle was respectievelijk 24% en 30% terwijl de lichtsom maar 9% steeg zodat de lichtbenutting in gram/mol en aantal/mol het hoogste was voor deze behandeling. Een hogere lichtbenutting betekent dus dat het totale aangeboden licht (daglicht+lamplicht) efficiënter wordt omgezet naar kg productie. Bij 86 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ tussenbelichting (E) was de relatieve toename in productie het geringst. De lichtbenutting in gram/mol van die behandeling was dan ook nagenoeg hetzelfde als de controle (Tabel 4).

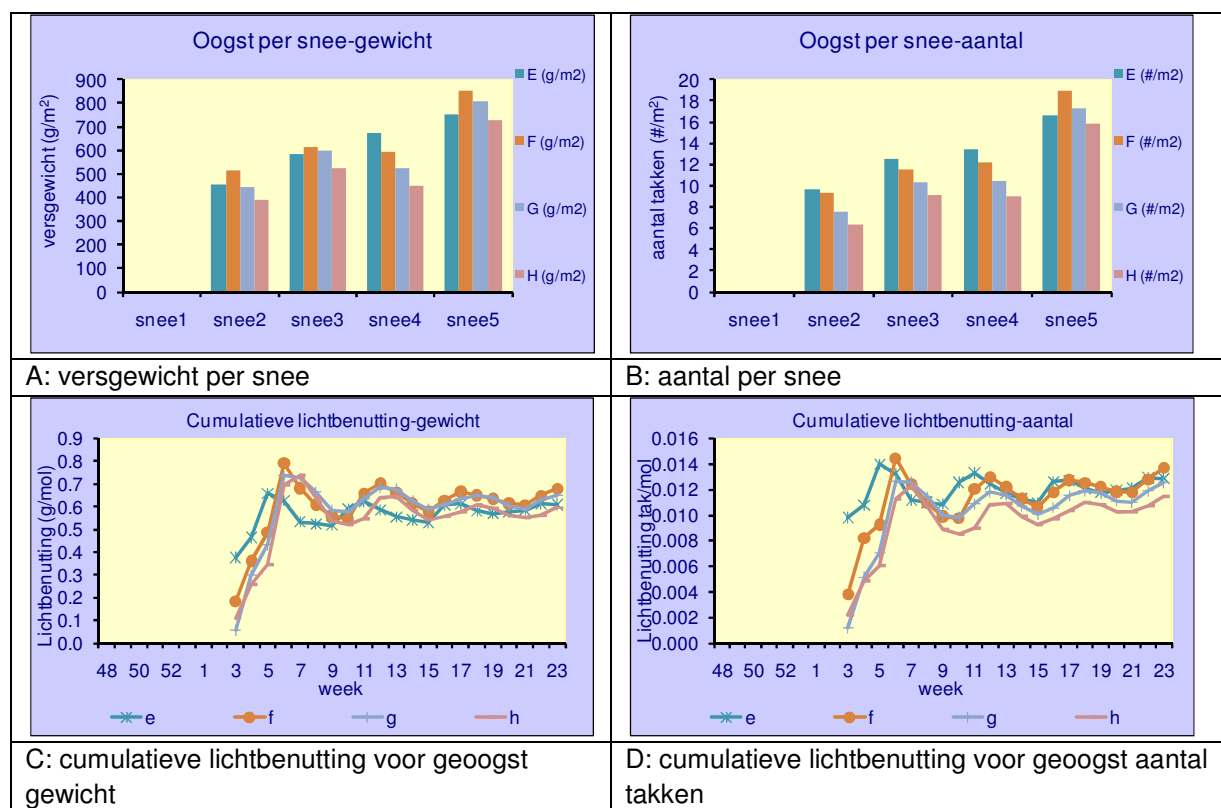


Fig. 10. Oogst per snee van het jonge gewas uitgedrukt in aantal en gewicht (AB) en de cumulatieve lichtbenutting van het gewicht en aantal (CD). Zie Tabel 4 voor uitleg van de codes E-H.

Tabel 4. Cumulatieve productie en lichtbenutting.

Ras	Plot Code	Behandeling	SON-T / LED ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$)	Cumulatieve productie (kg/m^2)	Cumulatieve productie (aantal/ m^2)	Gram/mol*
Passion / jong	E	SON-T/LED r/bl(13%)	218 / 86	2.5	52	0.61
Passion / jong	F	SON-T/LED r/bl(13%)	222 / 43	2.6	52	0.68
Passion / jong	G	SON-T/LED r/bl(13%)	222 / 21	2.4	46	0.65
Passion / jong	H	Controle: SON-T	222	2.1	40	0.60

* Mol toplicht is gecorrigeerd voor de beschaduwung door het aluminium profiel, zie H3.1.

3.4.2 Ouder gewas (gelijke lichtsom)

Het oogstpatroon van de behandelingen met een gelijke lichtsom (A, I, K) van de snedes 1-5 verliep grillig, met soms een hogere productie voor de tussenbelichting (I en K) en soms een hogere productie voor de controle (A). Zie Fig. 11. Doordat het aandeel lamplicht gedurende snee 1 en 2 op 80% lag terwijl dit voor snee 4 en 5 maar 25% was, waren de grootste effecten van tussenbelichting in de eerste twee snedes te verwachten, echter de lichtbenutting in gram/mol verschilde aan het einde van snee twee al niet meer. De lichtbenutting in tak/mol was aan het einde van de tweede snee alleen voor behandeling I wat hoger. De cumulatieve productie aan het eind van snee 5 (Tabel 5.) was 300-400 gram lager bij de behandelingen met tussenbelichting. Het cumulatieve aantal takken was alleen in behandeling K lager. De reden voor dit verschil is onduidelijk, temeer omdat bij behandeling I door de dubbele lichtmodules er een absoluut verlies was van 1.5 tak/m²/snee dus in totaal 7.5takken/m² (zie par. 3.1) waardoor het verschil tussen I en K nog groter wordt. Door correctie voor beschaduwung van het aluminium profiel was het verschil in lichtbenutting in gram/mol tussen de behandelingen zeer gering (Tabel 5). Er kan dan ook geconcludeerd worden dat in deze behandelingen de lichtsom de bepalende factor was voor de productie en niet de positie (tussen het gewas) of lightspectrum.

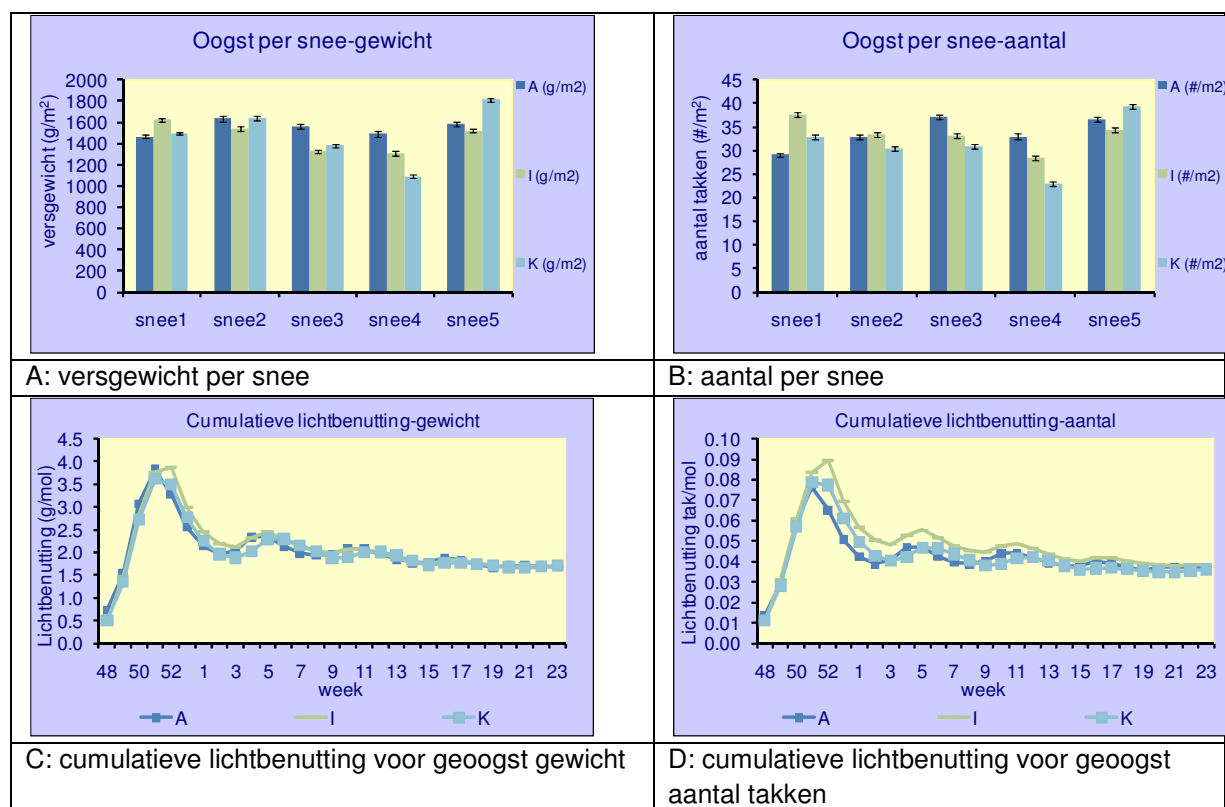


Fig. 11. Oogst per snee van het oudere gewas uitgedrukt in aantal en gewicht (AB) en de cumulatieve lichtbenutting van het gewicht en aantal (CD). Zie tabel 5 voor uitleg van de codes A, I en K.

Tabel 5. Cumulatieve productie en lichtbenutting.

Ras	Plot Code	Behandeling	SON-T / LED ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Cumulatieve productie (kg/m^2)	Cumulatieve productie (aantal/ m^2)	Gram/mol*
Passion	A	Controle: SON-T	226	7.7	169	1.68
Passion	I	SON-T/LED r/bl(13%)	135 / 86	7.3	167	1.69
Passion	K	SON-T/LED r/bl(13%)	179 / 43	7.4	156	1.72

* Mol toplicht is gecorrigeerd voor de beschaduwung van het aluminium profiel, zie H3.1.

3.4.3 Ouder gewas (gelijk niveau tussenbelichting)

Het oogstpatroon van de behandelingen met een gelijk niveau tussenbelichting en een verschil in topbelichtingsniveau (D, J,K) verliep ook grillig. De trend is een hogere productie (aantal en gewicht) bij een hoger topbelichtingsniveau (Fig. 12; voor een extra vergelijking is de controle erbij gezet). De lichtbenutting (gram/mol) liet het tegengestelde patroon zien, hoe lager het niveau topbelichting, hoe hoger de lichtbenutting (Tabel 6). Dit betekent dat bijbelichten met $180 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ efficiënter was dan bijbelichten met $220 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en suggereert dat de hoeveelheid bijbelichting boven het optimum (maximale lichtbenutting) lag. Voor het jonge gewas leek het optimum echter juist hoger en op $265 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ te liggen. Het belichtingsregiem is voor de lichtbenutting heel belangrijk: de lichtbenutting wordt al snel lager als de combinatie daglicht + assimilatielicht boven de $250\text{-}300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ uitkomt (Schapendonk, 2005). In Fig. 12CD is te zien dat juist gedurende snee 1 en 2 waarin het aandeel lamplicht hoog (80%) was de lichtbenutting van behandeling J het hoogste was. Hier lijkt dus optimalisatie in belichtingsduur en intensiteit tot verhoging van de lichtbenutting mogelijk door lamplicht in stappen uit te schakelen als het daglicht boven bepaalde grenzen uitkomt.

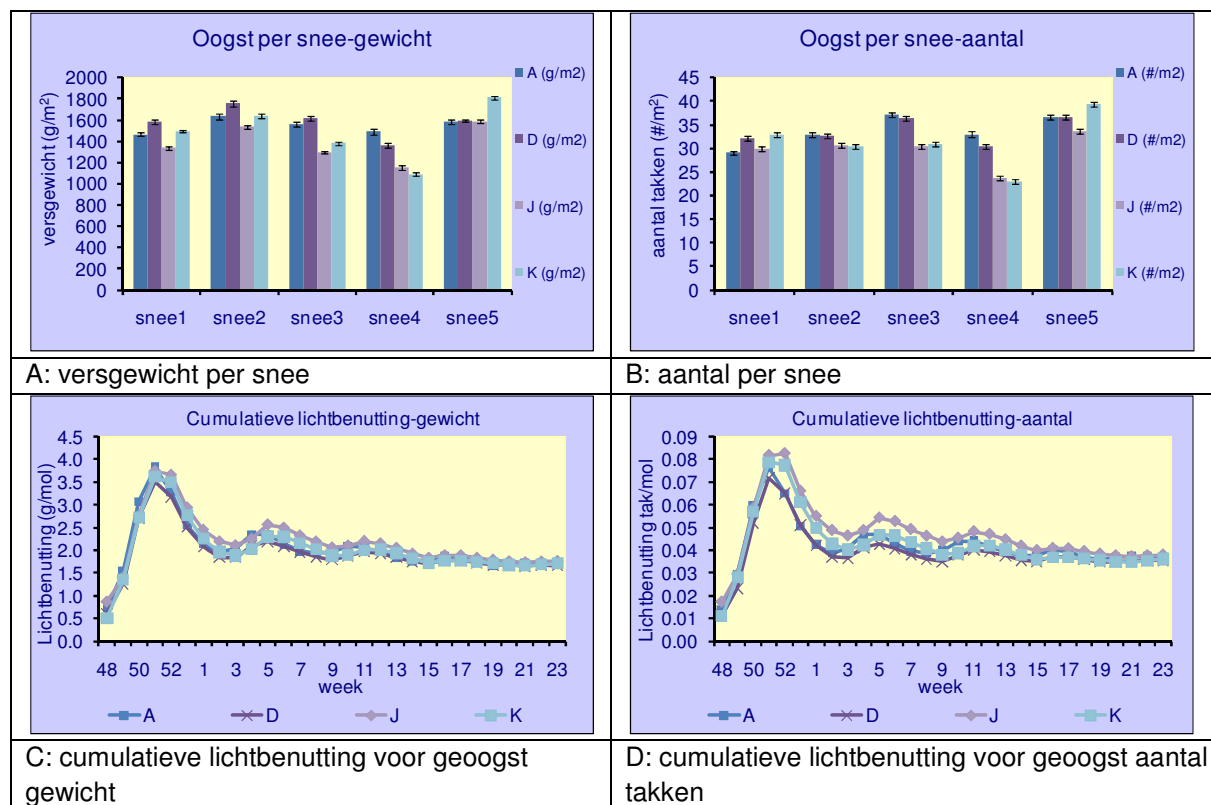


Fig. 12. Oogst per snee van het oudere gewas uitgedrukt in aantal en gewicht (AB) en de cumulatieve lichtbenutting van het gewicht en aantal (CD). Zie tabel 6 voor uitleg van de codes A, D, J en K.

Tabel 6. Cumulatieve productie en lichtbenutting.

Ras	Plot Code	Behandeling	SON-T / LED ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Cumulatieve productie (kg/m^2)	Cumulatieve productie (aantal/m^2)	Gram/mol*
Passion	A	Controle: SON-T	226	7.7	169	1.68
Passion	D	SON-T/LED r/bl(13%)	226 / 43	7.9	168	1.66
Passion	J	SON-T/LED r/bl(13%)	135 / 43	6.9	148	1.76
Passion	K	SON-T/LED r/bl(13%)	179 / 43	7.4	156	1.72

* Mol toplicht is gecorrigeerd voor de beschaduwing van het aluminium profiel, zie H3.1.

3.4.4 Ouder gewas (stuurlicht)

Behandelingen B en C zijn vergeleken om inzicht te krijgen in mogelijke stuurlichteffecten van lichtkleur op scheutuitloop, ontwikkeling en kwaliteit van de rozen. B bevatte $21 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ rood licht en C $21 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ rood/blauw licht. De behandelingen zijn vergeleken met de controle zonder tussenbelichting (A). In de eerste snede hadden B en C beide een hogere productie dan de controle. In de tweede snede had alleen B een hogere productie. In snee 3&4 was er geen verschil, terwijl in snee 5 alleen behandeling C een hogere productie had. De patronen zijn identiek voor gewicht en aantal takken. Het oogstpatroon over de tijd is dus grillig en het aanvankelijk positieve effect van rood licht ten opzichte van behandeling C werd gedurende snee5 weer teniet gedaan. Buiten het effect van behandeling C in snee5 lijkt het stuurlicht wel het grootste effect te hebben als het aandeel lamplicht hoog ligt zoals in snee1&2. Gedurende deze eerste twee snedes was het totale topbelichtingsniveau (dag+lamplicht) relatief laag en stonden de lampen lang aan. Dit suggereert dat voor stuurlicht de verhouding tot de totale lichtsom en/of de belichtingsduur over de dag van belang is. Het blijkt dat dit soort mechanistische processen lastig naar boven zijn te halen in een praktijkproef. Dit heeft waarschijnlijk te maken dat regulerende handelingen op gebied van teeltmanagement een grotere impact hebben op de teelt dan de relatief kleine effecten van de behandelingen. De cumulatieve lichtbenutting van behandeling B en C was 7-8% hoger dan de controle (Tabel 7) en het hoogst van alle behandelingen, dus zelfs hoger dan behandeling J met de laagste lichtsom (zie bespreking in par. 3.4.3) en laat zien dat de lichtintensiteit van de SON-T lampen ($226 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) in principe nog niet over het optimum heen is. De lichtbenutting van behandeling D ($226 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T/ $43 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED) lijkt daarentegen wel over het optimum heen te zijn. Het opmerkelijke is echter wel dat de productie van deze behandeling lager was dan de behandelingen B en C. Hier hebben we geen duidelijke verklaring voor gevonden.

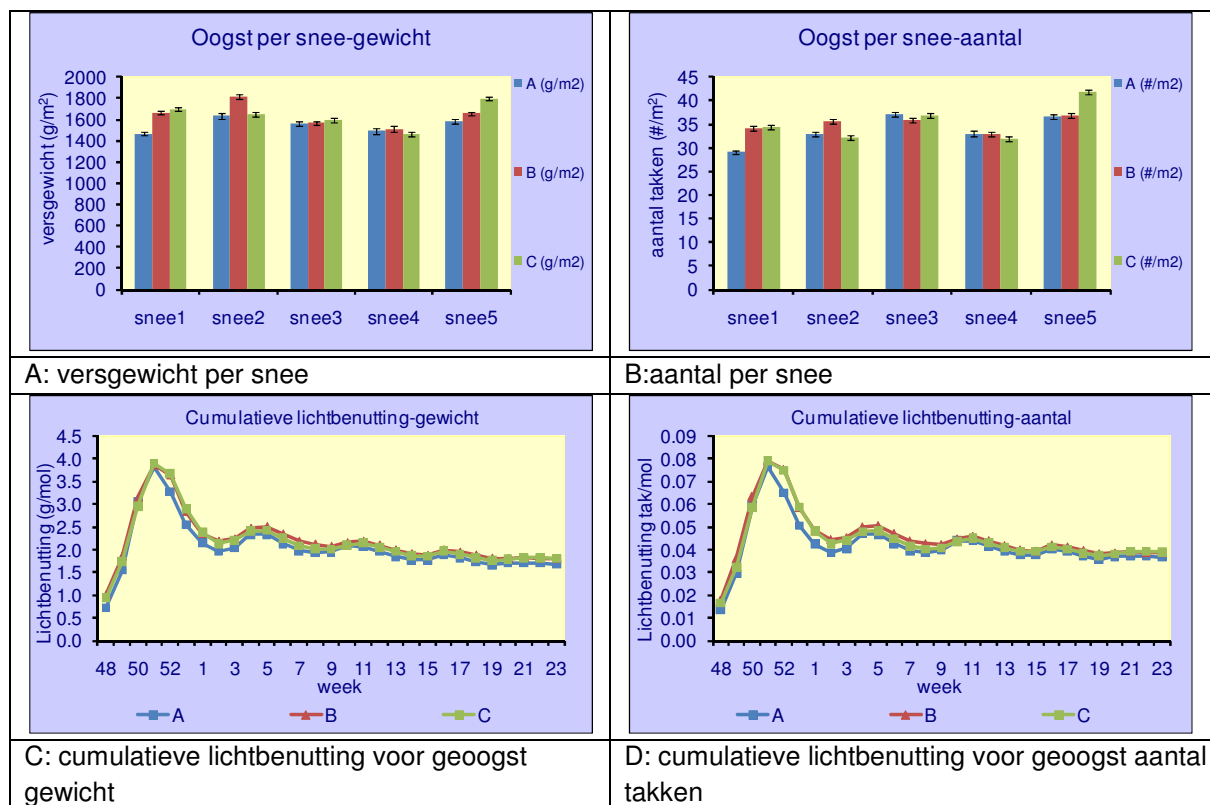


Fig. 13. Oogst per snee van het oudere gewas uitgedrukt in aantal en gewicht (AB) en de cumulatieve lichtbenutting van het gewicht en aantal (CD). Zie tabel 7 voor uitleg van de codes A, B en C.

Tabel 7. Cumulatieve productie en lichtbenutting.

Ras	Plot Code	Behandeling	SON-T / LED ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$)	Cumulatieve productie (kg/m^2)	Cumulatieve productie (aantal/ m^2)	Gram/mol*
Passion	A	Controle: SON-T	226	7.7	169	1.68
Passion	B	SON-T/LED rood	226 / 21	8.2	176	1.81
Passion	C	SON-T/LED r/bl(13%)	226 / 21	8.2	177	1.80

* Mol toplicht is gecorrigeerd voor de beschaduwung van het aluminium profiel, zie H3.1.

3.5 Fytochroomstatus en lichtspectrum

Zoals in de inleiding aangegeven kan de rood/verrood (R/RV) verhouding dieper in het gewas de scheutuitloop bij roos remmen of bevorderen. Het lichtspectrum werkt in op een speciaal mechanisme wat regulerend kan werken op de uitloop van ogen tot nieuwe scheuten: het fytochroom. Het fytochroom wordt vooral aangestuurd door de R/VR verhouding maar wordt tevens beïnvloedt door het gehele kleurspectrum (Sager *et al.* 1988). In Fig. 14 zijn de lichtspectra in een half open en een dicht gewas weergegeven. De rode lijn (controle) laat voornamelijk het SON-T spectrum zien, de paarse lijn is een combinatie van de rood/blauwe LED-belichting en de SON-T. Het verloop van de spectra is in een half open en een dicht gewas tussen de 400 en 700nm ongeveer hetzelfde, maar boven de 700 nm wordt in een dicht gewas het aandeel verrood belangrijker (Fig. 14B). De piekerigheid in Fig. 14B laat de ruis van het signaal zien, de hoeveelheid PAR was op dat moment slecht $3 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Op grond van deze spectra is de fytochroomstatus diep in het gewas berekend

(Tabel 8). Een hoge fytochroomstatus (PSS) kan de uitloop van nieuwe scheuten stimuleren, een lage status kan de scheutuitloop juist remmen. In een dicht gewas zonder LED-belichting was de PSS laag (0.48), hier kan dus een remmende werking op scheutuitloop ontstaan. Door de toepassing van R/B LED belichting steeg de PSS naar 0.6. Als er echter alleen rood licht werd gegeven dan steeg deze naar 0.67. Als het verduisteringsscherm dicht was dan was er bijna geen verrood (van daglicht) meer aanwezig en PSS was dan >0.82 . De PSS is dus afhankelijk van het moment van de dag en wisselt continu. Er is echter meer onderzoek nodig om na te gaan of er momenten zijn waarin sturing van de PSS voor de uitloop van nieuwe scheuten meer oplevert dan op andere momenten en wat drempelwaarden van de PSS moeten zijn, wil het scheutuitloop bevorderen. De behandelingen A, B en C worden in zomer en herfst 2010 voortgezet waarbij aan dit aspect meer aandacht zal worden besteed.

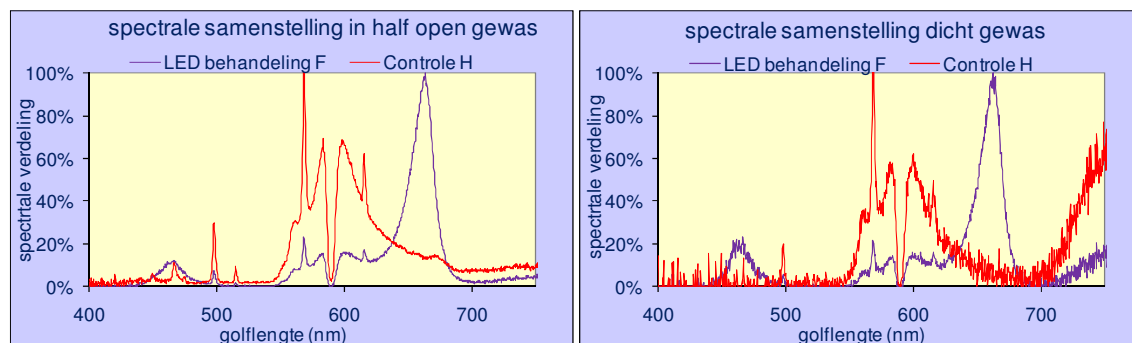


Fig. 14. Illustratie van de spectrale samenstelling in een half open (A) en een dicht gewas (B). In het half open gewas werd er een lichtintensiteit van ongeveer $35 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ gemeten; in het dichte gewas werd er een lichtintensiteit van $3 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ gemeten.

Tabel 8. Fytochroomstatus (PSS) van verschillende behandelingen.

Lichtbron	PSS
Daglicht	0.72
SON-T	0.84
Daglicht + 50% SON-T	0.76
LED 100% rood	0.88
LED 13% blauw	0.88
LED 100% blauw	0.54
<i>behandelingen met daglicht achtergrond en 50% SON-T (16.00 hr)</i>	
controle in dicht gewas	0.48
LED in dicht gewas 100% rood 'B'	0.67
LED in dicht gewas 13% blauw 'C'	0.6
LED in dicht gewas 13% blauw 'D'	0.6
LED in open gewas 13% blauw 'D'	0.82
LED in half open gewas 13% blauw 'D'	0.72

Het lichtspectrum heeft ook een sturende rol in de acclimatisatie van het fotosynthese-apparaat van bladeren. Hiervoor is niet alleen de spectrale verdeling van belang maar ook de absolute hoeveelheid per lichtkleur. Zo heeft recent onderzoek bij komkommer (zonder daglicht) aangetoond dat voor een gezonde fotosynthese en bladontwikkeling er $7\text{-}15 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ blauw licht nodig is (Hogewoning et al., 2010). Voor volgroeide bladeren lijkt een absolute ondergrens voor blauw licht minder van belang te zijn maar 100% rood licht (zonder daglicht) versterkt wel de acclimatisatie van het fotosynthesesysteem van 'zon' naar 'schaduw' bladeren (Trouwborst et al., 2010). In de praktijk is er door het daglicht ruim voldoende blauw licht aanwezig voor de ontwikkelende bladeren. Voor de oudere bladeren die dieper in het gewas zitten hoeft aanpassing van 'zon' naar 'schaduw' blad niet

direct negatief te zijn. Aanpassing van 'zon' naar 'schaduw' blad kan zelfs positief zijn zolang het licht dat de bladeren krijgen niet minder efficiënt in assimilaten wordt omgezet omdat voor die bladeren ook de onderhoudsademhaling daalt (Pons en Pearcy, 1994; Trouwborst et al. 2010).

3.6 Energieconversie lichtsystemen

Op Marjoland 4 hangt een belichtingsinstallatie van SON-T 1000W/400V-electronisch. Dit systeem heeft de hoogste energieconversie in $\mu\text{mol/W}$ van de bestaande SON-T systemen. Het systeemrendement (dus inclusief reflector en driver verliezen) ligt op $1.63 \mu\text{mol/W}$ (Tabel 9). Dit is nog maar gering hoger dan het systeemrendement van de LED-modules (generatie 2009). Het systeemrendement van de LED-modules generatie 2010¹ komt met $1.8 \mu\text{mol/W}$ op een gelijk systeemrendement als de nieuwe 1000W SON-T lamp (generatie 2010: Master Greenpower Plus 1000W EL).

Tabel 9. Rendement belichtingssystemen

	<i>PPF</i>	<i>W (systeem)</i>	<i>$\mu\text{mol/W}$</i>	<i>W/m^2</i>	<i>PAR /m²</i>
SON-T 1000W/400V	1850	1035	1.79	-	-
nieuwwaarde systeem (reflector rendement 0.91)	1683.5	1035	1.63	-	-
gerealiseerd lichtniveau	-	-	1.63	138	226
Philips GreenPower LED production module R/B (13% blauw)(systeem 2009)	62.5	40	1.6	27.5	43

¹ verwachte waarde voor de nieuwe tussenbelichtingsmodule, ontwikkeld voor bijvoorbeeld toepassing in tomatenteelt, opgegeven door Esther van Echtelt (Philips).

4 Modelberekeningen en scenariostudie

4.1 Modelberekeningen

Het Explorer-model is ingezet met als doel inzicht te geven in het effect van tussenbelichting bij roos. De behandelingen bij het oudere gewas zijn doorgerekend op potentiële productie en welke eventuele meerwaarde door tussenbelichting kan worden gerealiseerd. Met het model wordt met de onderliggende processen zoals bladfotosynthese, temperatuur, vraag en aanbod van assimilaten (sink-source verhouding) gerekend. Als inputgegevens zijn gewas en klimaatgegevens van Marjoland gebruikt, gecombineerd met parameters van Passion van voorgaand onderzoek in Paspoort roos (Schapendonk et al. 2009).

Het Explorer-model berekent voor de controle (behandeling A) een 10% hogere productie ten opzichte van de gerealiseerde productie (Tabel 10 en Bijlage met samenvattingen per behandeling).

Vermoedelijk heeft dit te maken met dat het gewas tijdens de gehele proefperiode erg 'op snede' stond. De behandelingen B, C en D geven een potentiële meerproductie van 3 tot respectievelijk 6%. Deze meerproductie wordt gerealiseerd op basis van meer licht (bij deze behandelingen is namelijk sprake van extra licht door de tussenbelichting) en een andere lichtverdeling. De effecten zijn klein, omdat het gehanteerde tussenbelichtingsniveau laag was.

De gerealiseerde meerproductie van de stuurlichtbehandelingen B en C was 7-8%. Het verschil met de berekende meerproductie van 3% zou mogelijk verklaard kunnen worden als een stuurlichteffect op extra scheutuitloop. Gezien de mogelijke invloed van regulerende handelingen op het gebied van teeltmanagement (temperatuur, knipstrategie, wel/niet inbuigen) zijn de verschillen echter te klein voor een harde conclusie. Er is wel sprake van een trend. Berekening van behandelingen I, J en K (lager toplicht t.o.v. A,B,C,D) laten eenzelfde beeld zien als bij de gerealiseerde productie: De cumulatieve productie is afhankelijk van de lichtsom. Het relatief grotere aandeel tussenbelichting geeft hierbij geen meerwaarde.

4.2 Scenariostudie – apicale dominantie

Passion heeft een sterke apicale dominantie. Dit betekent dat de groei van opgaande scheuten domineren ten opzichte van nieuwe scheutuitloop. Het gewas heeft dus een sterke neiging om 'op snede' te staan. Het ras Avalanche daarentegen heeft een zeer geringe apicale dominantie, met als gevolg een vrij constante uitgroei van nieuwe scheuten in de tijd. Door het inbrengen van dit specifieke rasverschil ontstaat er een virtuele Passion met dezelfde eigenschap voor scheutuitloop als Avalanche. Het effect van dit specifieke rasverschil in relatie tot tussenbelichting is doorgerekend met het Explorer-model.

De overall productie voor een gewas met geringe apicale dominantie (berekening van het ras Passion met dezelfde apicale dominantie als Avalanche) lag 30% hoger dan Passion (Tabel 10 en Bijlage met samenvattingen per behandeling). Dit verschil wordt voornamelijk veroorzaakt door de hogere LAI (meer opgaande takken) en de gelijkmatigere LAI door de tijd. Tezamen geeft dit een verbeterde lichtonderschepping en benutting voor de fotosynthese. Met een hoge apicale dominantie is een gewas al snel sink gelimiteerd, hierdoor heeft het toevoegen van meer licht weinig zin. Dit in tegenstelling tot een gewas met lage apicale dominantie dat source gelimiteerd is. Overeenkomstig zijn de theoretische effecten van tussenbelichting groter (verhoging van 10%; zie behandeling D in tabel 10 en de bijlage, zie ook Hst. 3.1 waar de verliesposten van assimilatielicht in een vol en open gewas zijn gekwantificeerd). Bij een ras met lage apicale dominantie (zoals Avalanche) worden er geen extra stureffecten van het LED-licht op scheutuitloop verwacht.

Uit deze analyse komt dus opnieuw scherp naar voren dat raseigenschappen grote invloed kunnen hebben op beoogde proefresultaten. Voor roos is dit al eerder aangetoond binnen de projecten 'Paspoort roos' en 'boven en onderkoeling en verwarming roos' (Schapendonk et al. 2009; Schapendonk et al. 2010). Tevens laat deze scenariostudie zien dat stimulering van de okselknopuitloop bij Passion dus een sleutelproces is tot verhoging van de productie.

Tabel 10. Gerealiseerde, berekende en potentiële productie. De standaardfout van de berekende producties ligt in de orde van 0.2kg.

<i>Ras</i>	<i>Plot code</i>	<i>Behandeling</i>	<i>SON-T / LED ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$)</i>	<i>Oogst</i>	<i>Berekende Oogst (hoge apicale dominantie)</i>	<i>Berekende Oogst (lage apicale dominantie)</i>
Passion	A	Controle: SON-T	226	7.7	8.6	11
Passion	B	Combi SON-T/LED rood	226 / 21	8.2	8.9	11.5
Passion	C	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	226 / 21	8.2	8.9	11.7
Passion	D	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	226 / 43	7.9	9.1	12.2
Passion	I	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	135 / 86	7.3	8.6	11.8
Passion	J	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	135 / 43	6.9	7.2	9
Passion	K	Combi SON-T/LED r/bl(13%)	179 / 43	7.4	8.5	11.7

5 Conclusies

Algemene conclusies met betrekking tot LED-tussenbelichting in combinatie met SON-T bovenbelichting:

1. Afhankelijk van het lichtniveau tussenbelichting was de luchttemperatuur rondom de knippunten $0.5 - 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hoger dan bij de controle. Dit had geen meetbaar effect op de scheutuitloop. Door de hogere temperatuur was wel de RV lager wat de kans op natslaan van het gewas en daarmee de kans op ziektedruk verkleint.
2. Het lightspectrum veranderde dieper in het gewas. Het effect op scheutuitloop is echter nog onduidelijk en hangt samen met de lichtintensiteit.
3. Het tussenbelichtingssysteem in de huidige vorm gaf te veel schaduw, dit kan vermeden worden door de LED modules zo smal mogelijk te maken.
4. Opgaande takken werden in een aantal behandelingen fysiek gehinderd door de LED tussenbelichting toegepast in de huidige vorm.
5. Ook waar de LED modules de opgaande takken niet fysiek hinderden was de afstand van module tot blad vaak te klein, dit werkt een heterogene lichtverdeling in de hand en verlaagt de efficiëntie. De minimale afstand van LED modules tot bladeren zou bij voorkeur 15 cm moeten zijn.
6. Het gemakkelijker 'uit snede' telen door effect van tussenbelichting op de scheutuitloop is niet naar voren gekomen. Hier is echter ook niet gericht op gestuurd door teelt- of temperatuursmanagement.
7. De gevonden effecten van tussenbelichting zijn grillig en variëren per snede. Dit kan maar gedeeltelijk verklaard worden door verschillen in aandeel lamplicht ten opzichte van de totale lichtsom (80% in snede 1&2 t.o.v. 25% in snede 4&5). Het blijkt dat een mechanistische proces zoals scheutuitloop lastig naar boven te halen is in een praktijkproef. Dit heeft waarschijnlijk te maken dat regulerende handelingen op gebied van teeltmanagement een grotere impact hebben op de teelt dan de geconstateerde relatief kleine effecten van de behandelingen.
8. De meerproductie door tussenbelichting hangt af van de mate waarop een gewas 'op snede' staat. Staat het gewas 'op snede' (sterke apicale dominantie zoals Passion gedurende proef), dan geeft $43\text{ }\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ tussenbelichting een theoretische meerproductie van 3-6% (Explorer). Het doorbreken van de apicale dominantie of een ras met een geringe apicale dominantie (zoals Avalanche) geeft een theoretische meerproductie van 10% (Explorer). Eventuele stuurlichteffecten kunnen mogelijk dit effect vergroten.

Conclusie met betrekking tot een gelijke lichtsom:

1. De positie en spectrum van het licht was ondergeschikt aan de lichtsom, tussenbelichting was niet effectiever dan topbelichting. Echter, doordat het gewas sterk op snede stond kun je niet altijd van tussenbelichting spreken: Gedurende ongeveer de helft van de snede stond het gewas 'leeg' en fungeerde de tussenbelichting als topbelichting die tevens gedeeltelijk het gewas beschaduwde met betrekking tot daglicht en SON-T licht.

Conclusie met betrekking tot gelijk niveau van tussenbelichting:

2. Een hoger niveau topbelichting bij een gelijk niveau tussenbelichting gaf een hogere productie met een lagere lichtbenutting (gram/mol daglicht + assimilatielicht). Een lager niveau van bijbelichting gaf een hogere lichtbenutting dan de controle. Dit suggereert dat de hoeveelheid bijbelichting van de controle (duur of niveau) boven het optimum (maximale lichtbenutting) lag. Echter toevoeging een kleine hoeveelheid stuurlicht bovenop de lichtintensiteit van de controle liet de hoogste lichtbenutting zien.

Conclusies met betrekking tot stuurlichteffecten:

3. Tussenbelichten met laag licht (stuurlicht) gaf een 7-8% hogere productie (kg/m^2) en lichtbenutting (g/mol) t.o.v. de controle. Dit betekent dat met relatief een gering aantal LED modules de hoogste meerproductie is behaald. Vanuit economisch oogpunt (lage energie input + installatiekosten) lijkt deze optie dan ook het meest gunstig. Met Explorer wordt maar 3-5% meerproductie verklaard door het extra licht. Het verschil met de gemeten productie kan mogelijk verklaard worden door een stuurlichteffect op extra scheutuitloop. De verschillen zijn te klein voor harde conclusies en geven meer een trend weer.
4. Het aanvankelijk positieve effect van 100% rood ten opzichte van rood/blauw licht verdween in de 2^e helft van de proef. Mogelijk komt dit door het grote aandeel lamplicht. Dit aandeel was namelijk voor de eerste twee snedes 80% en slechts 25% in de 4^e en 5^e snee.

Conclusie met betrekking tot het gewas Passion:

5. Scenariostudie met het rekenmodel 'Explorer Roos' geeft aan dat door het doorbreken van de hoge apicale dominantie bij Passion tot het niveau van Avalanche (geringe apicale dominantie) er een theoretische meerproductie van 30% mogelijk is. Dit verschil wordt voornamelijk veroorzaakt door de hogere LAI (meer opgaande takken) en de gelijkmatigere LAI door de tijd. Tezamen geeft dit een verbeterde lichtonderschepping en benutting voor de fotosynthese. Stimulering van de okselknopuitloop bij Passion is dus een sleutelproces tot verhoging van de productie.

Referenties

Hogewoning SW, Trouwborst G, Maljaars H, Poorter H, van Ieperen W, Harbinson J, 2010. Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *J. Exp. Bot.* **61**, 3107-3117.

Maas FM en Bakx EJ, 1995. Effects of light on growth and flowering of *Rosa hybrida* 'Mercedis'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 20, 571-576.

Mor Y, Halevy AH, 1884 Dual Effect of light on flowering and sprouting of rose shoots. *Physiologia Plantarum* 61:119-124.

Pons TL, Percy RW. 1994. Nitrogen reallocation and photosynthetic acclimation in response to partial shading in soybean plants. *Physiologia Plantarum* **92**, 636-644.

Pot CS en Schapendonk AHCM, 2009. Combinatie belichting bij tomaat met LED tussen en SON-T boven het gewas. Plant Dynamics, Wageningen. 24p. *vertrouwelijk*

Sager JC, Smith WO, Edwards JL, Cyr KL, 1988. Photosynthetic Efficiency And Phytochrome Photoequilibria Determination Using Spectral Data. *Trans. ASAE* 31, 1882-1889.

Schapendonk AHCM, 2005, Korte-slag belichting bij Roos, Plant Dynamics B.V., Wageningen, p. 42.

Schapendonk AHCM, Pot CS, Rappoldt C., 2009. Plantenpaspoort roos: Sleutel voor optimale productie. Plant Dynamics B.V., Wageningen, p. 109.

Schapendonk AHCM, Pot CS, Rappoldt C., 2010. Luchttemperatuur-gradiënt bij roos deel 2 Fysiologie en scenario analyse. Plant Dynamics B.V., Wageningen, p 84.

Sterk F, Marcelis, L, Swinkels G, Warmenhoven M, Steenhuizen J, Zuurbier R, Dueck T, 2010, Efficiëntie van LED-belichting bij roos, Wageningen UR Glastuinbouw, p. 40.

Trouwborst G, Hogewoning SW, Savvides A, Harbinson J, van Kooten O, van Ieperen W. 2010. Plasticity of photosynthesis after the 'red light syndrome'. *nog niet gepubliceerd*

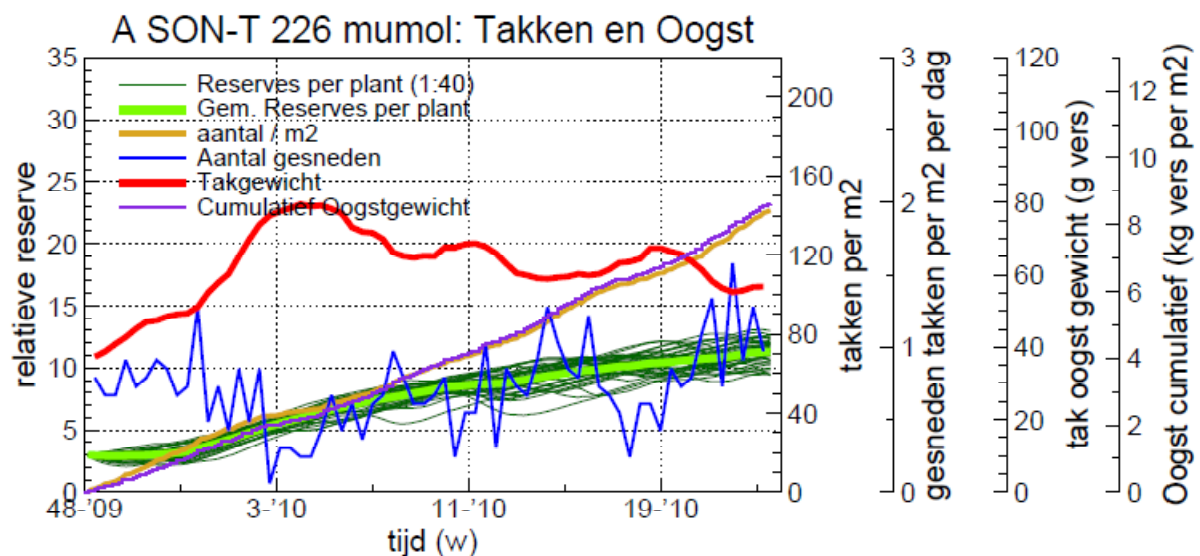
Bijlagen

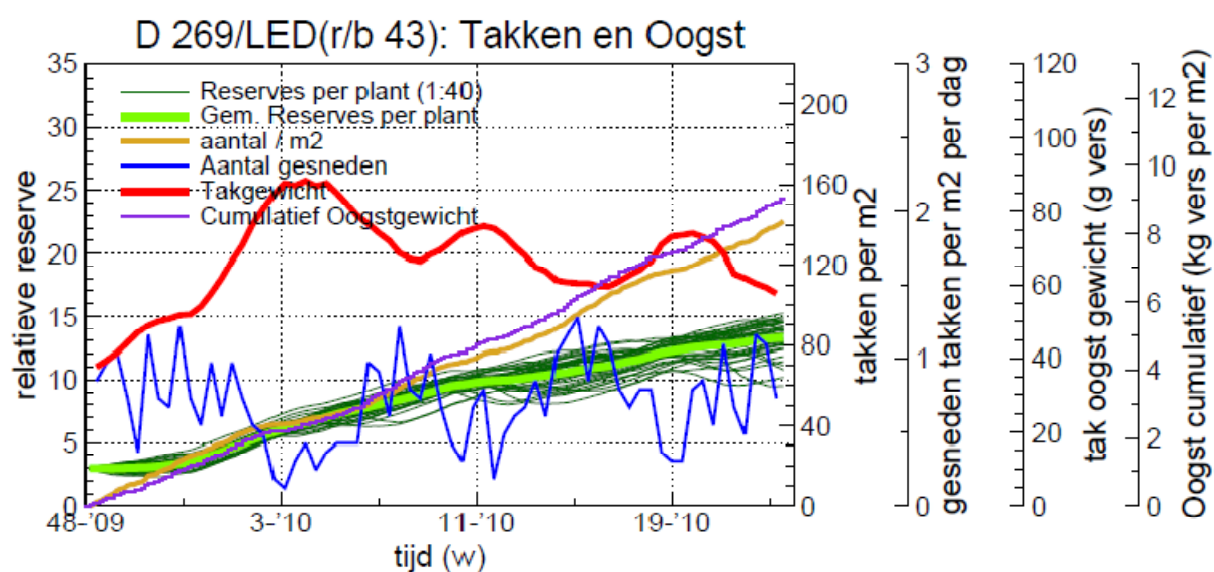
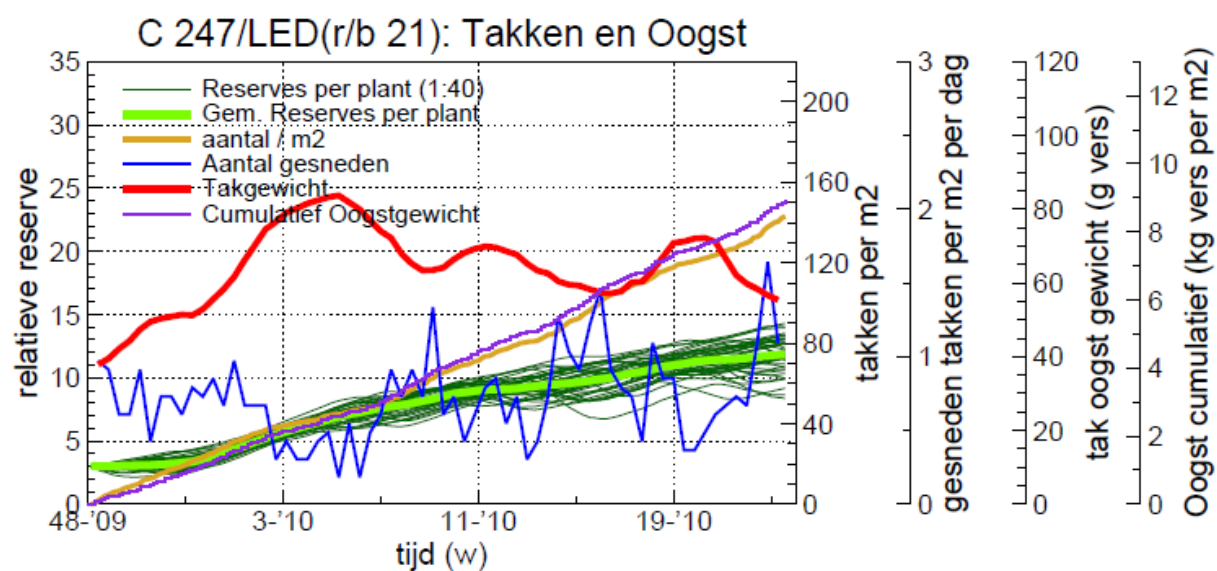
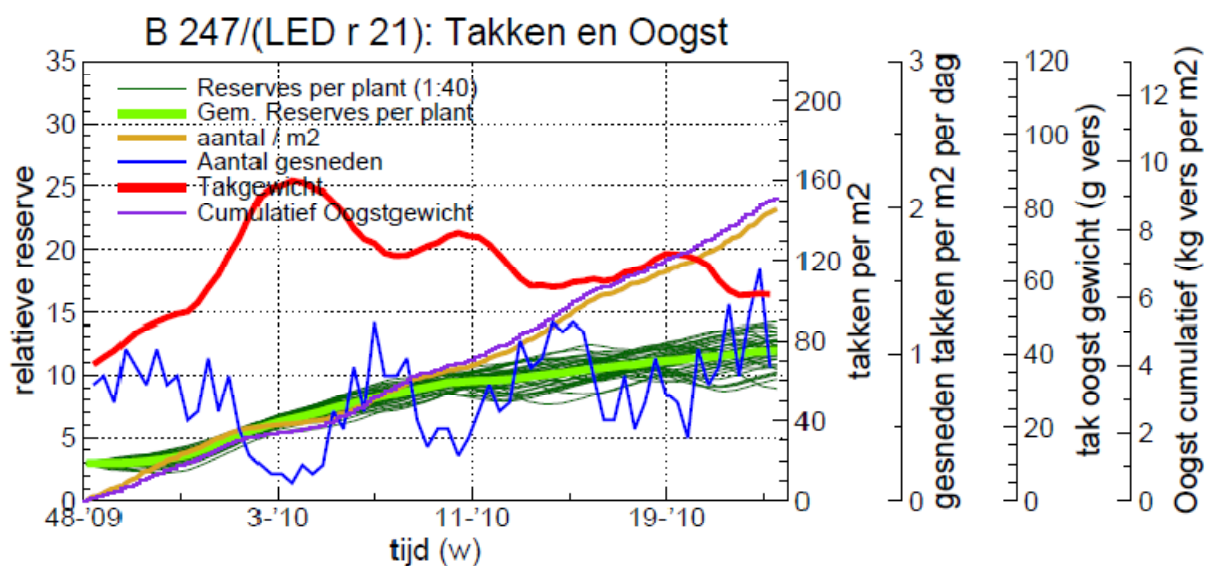
Data BCO vergaderingen.

22 januari 2010
19 maart 2010
23 april 2010
27 mei 2010
25 juni 2010
6 augustus 2010

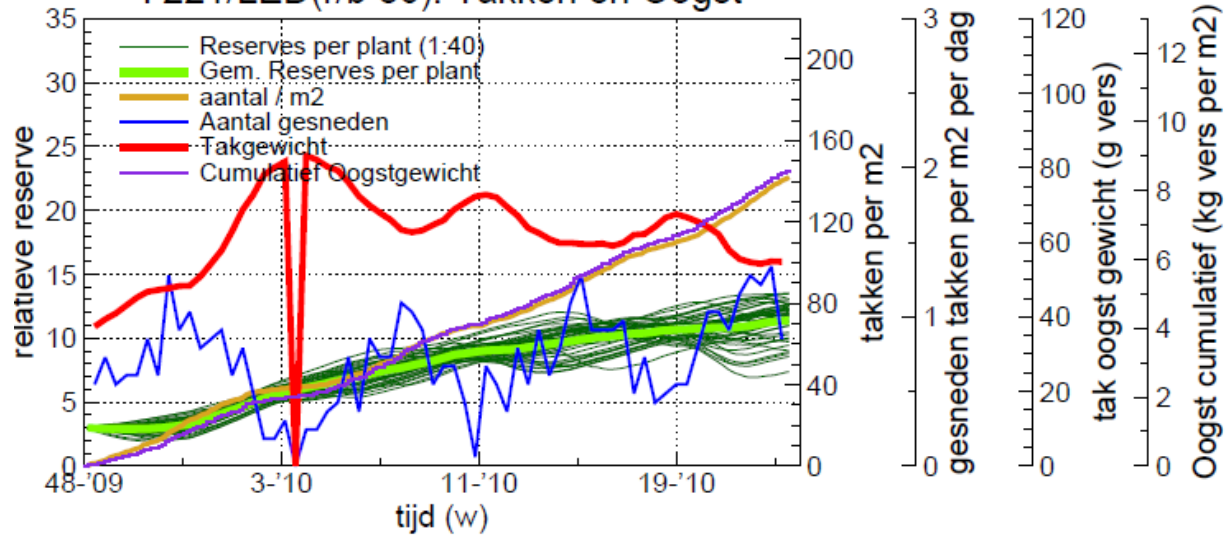
Explorer grafieken Passion met hoge apicale dominantie

In onderstaande figuren is de potentiële productie gedurende het experiment berekend. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van het gerealiseerde klimaat van Marjoland4. De paarse en de lichtbruine lijn geven respectievelijk de cumulatieve oogst in versgewicht en aantal takken weer. De blauwe lijn laat het oogstpatroon zien, de rode lijn het gemiddelde gerealiseerde takgewicht. De lichtgroene lijn laat de gemiddelde reserveopbouw door de planten zien. Deze lijn is het gemiddelde van de afzonderlijke donkergroene lijnen per plant. Er is gewerkt met een gemiddelde van 40 planten.

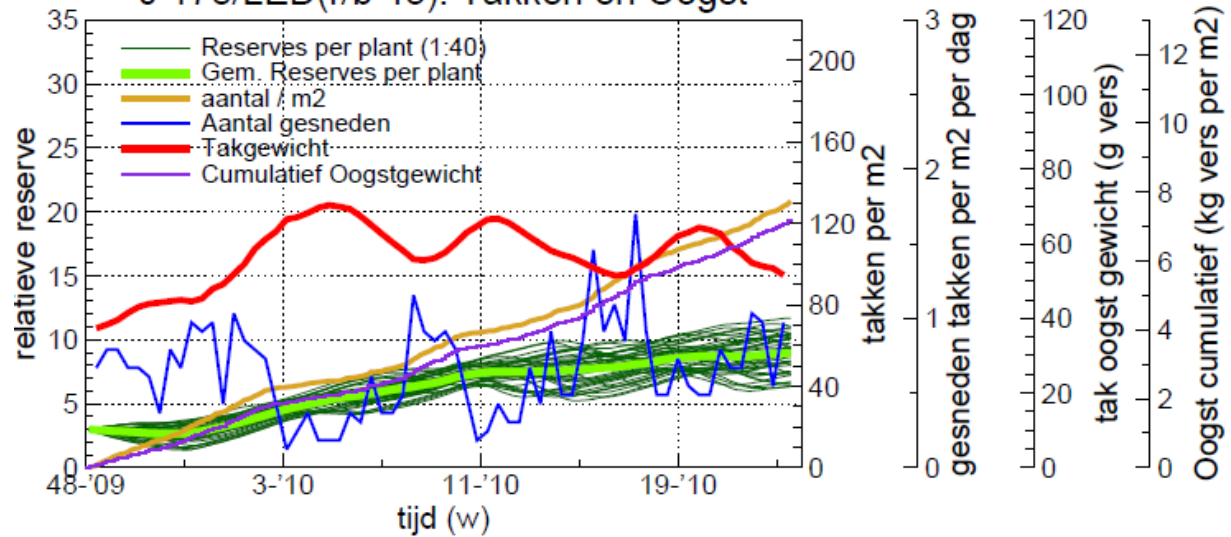




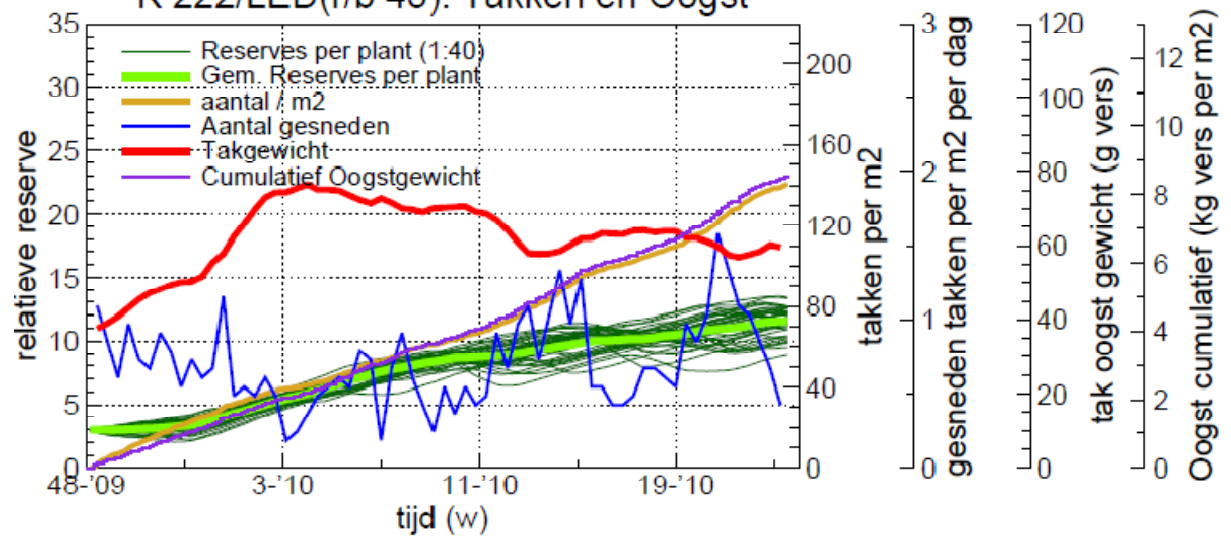
I 221/LED(r/b 86): Takken en Oogst



J 178/LED(r/b 43): Takken en Oogst



K 222/LED(r/b 43): Takken en Oogst



Explorer grafieken Passion met lage apicale dominantie

In onderstaande figuren is de potentiële productie gedurende het experiment weergegeven voor het gewas Passion met een apicale dominantie zoals van Avalanche:

De paarse en de lichtbruine lijn geven respectievelijk de cumulatieve oogst in versgewicht en aantal takken weer. De blauwe lijn laat het oogstpatroon zien, de rode lijn het gemiddelde gerealiseerde takgewicht. De lichtgroene lijn laat de gemiddelde reserveopbouw door de planten zien. Deze lijn is het gemiddelde van de afzonderlijke donkergroene lijnen per plant. Er is gewerkt met een gemiddelde van 40 planten.

