



TUINBOUWTECHNIEKONTWIKKELING

Eindverslag

“Systeeminnovatie Futagrow voor een duurzame belichte groenteteelt”



Contactpersoon:
Joël van Stalduinen
Inno-Agro B.V.
joel@inno-agro.nl
+ 316 20356021



Ministerie van Economische Zaken



Samenvatting

Het Futagrow systeem heeft een aantal unieke kenmerken welke mogelijkheden bieden voor energiebesparing in het algemeen en elektriciteitsbesparing in het bijzonder. In de belichtingsperiode van september 2014 tot april 2015 is in opdracht van het energie-onderzoeksprogramma Kas als Energiebron onderzoek uitgevoerd naar “Systeeminnovatie Futagrow voor een duurzame belichte groenteteelt”.

De basis van het innovatie teeltsysteem “Futagrow” ligt in het maximaal benutten van de hoeveelheid natuurlijk licht. In het Futagrow systeem wordt 95% van het binnenkomende licht opgevangen door het altijd jonge en vitale gewas. Korte, elkaar overlappende teeltrondes, op in hoogte verstelbare goten in combinatie met een substraatloze teelt zorgen voor een generatief en stuurbaar gewas.

In dit onderzoek zijn de mogelijkheden onderzocht om de unieke kenmerken van het Futagrow teeltsysteem in te zetten voor elektriciteitsbesparing. De energiebesparing moet komen uit de toepassing van LED top-belichting, LED tussenbelichting, verregaande lichtintegratie in combinatie met de hoge lichtbenutting van het Futagrow teeltsysteem. In dit onderzoek wordt daaraan toegevoegd de variërende lichtbehoefte van de twee overlappende teelten door de groeifasen heen. Hierbij is het tussenlicht per goot schakelbaar waarmee de lichtverdeling per levensfase en over de hoogte van het gewas optimaal te sturen is. Bovendien wordt de warmte van het tussenlicht afgegeven in het gewas, waarmee het ontbreken van stralingswarmte in de LED belichting van bovenaf wordt gecompenseerd.

Meer inzicht in de lichtbenutting van het gewas is een belangrijke factor. In dit onderzoek is door Adviesbureau JFH Snel de fotosynthese gemonitord met behulp van een verbeterde Plantivity (HEX-PAM). Hiermee wordt licht (PAR), fotosynthetisch elektrontransport (ETR) en bladtemperatuur op 6 posities in het gewas gemeten. In de lichtperiode wordt elk kwartier gemeten; in het donker één keer in het begin en één keer aan het eind. De potentiële ETR is de maximaal haalbare ETR van een blad bij een bepaalde PAR; deze wordt iedere dag in het begin van de lichtperiode bepaald.

In de periode van 27 oktober tot 23 december is een HEX-PAM ingezet om de lichtbenutting te monitoren in behandeling B (rij 16) op de Demokwekerij. Er is op verschillende posities in het gewas gemeten. Boven in het gewas, maar ook onderin en vlak onder het LED tussenlicht. Er is geen aanwijzing gevonden voor foto inhibitie (schade aan fotosyntheseapparaat). Het verband tussen ETR en PAR bleek lineair bij alle gemeten bladeren. De ETR reageerde nagenoeg instantaan op veranderingen in licht (incl. aangaan groeilicht). Vergelijking van de gemeten ETR met de potentiële ETR laat zien dat de ETR heel dicht bij de potentiële ETR ligt. De resultaten van de monitoring laten zien dat er in de periode oktober – december een lineaire relatie bestaat tussen ETR en PAR. Reductie van belichtingsuren leidt in de winter dus tot een evenredige daling in ETR.

Doel van de metingen aan fotosynthetisch elektrontransport was te onderzoeken op welke uren van de dag de belichtingsinstallatie optimaal is en op welke uren het kunstlicht kan worden afgebouwd. Op minder efficiënte uren kan wellicht de belichting worden uitgeschakeld. De verwachting was dat de belichting aan het einde van de dag minder effectief is omdat de plant na 18 uur belichting mogelijk “verzadigd” raakt. Uit de metingen bleek dit niet het geval te zijn.

Inhoud

Samenvatting	2
Inhoud	3
1. Futagrow	5
1.1 TTO & Futagrow.....	5
1.2 Futagrow systeem innovatie.....	6
2. Doelstellingen Futagrow - 2014/2015.....	8
2.1 Inleiding.....	8
2.2 Probleemstelling.....	8
2.3 Doelstelling	8
2.4 Inpassing Kas als Energiebron.....	9
2.5 Proefopzet.....	9
2.5.1 Fotosynthese onderzoek	11
2.5.2 Belichtingssystemen.....	12
2.5.3 Proefduur en teeltgegevens	13
3. Resultaten	16
3.1 Licht en belichting	16
4. Analyse, discussie en conclusie besparingsonderzoek.....	21
4.1 Analyse:	21
4.1 Conclusie	23
Bijlage 1: Verslag fotosynthesemonitoring	26

Introductie

Dit eindverslag is geschreven voor geïnteresseerden in de verduurzaming van belichte groenteteelten in de glastuinbouw, met nadruk op opgaande groentegewassen zoals tomaat. In dit verslag wordt het onderzoek naar effectiever toepassen van belichting in het innovatieve teeltsysteem Futagrow van Telersvereniging 'Tuinbouw Techniek Ontwikkeling' (TTO) uiteengezet. Dit project heeft plaatsgevonden van september 2014 tot juni 2015 in de Demokwekerij Westland. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het programma "De kas als energiebron".

Disclaimer

© 2014 T.T.O. • Zwethlaan 52 • 2675 LB Honselersdijk • T. 0174-385600 • www.tto.nu

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

1. Futagrow

1.1 TTO & Futagrow

Telersvereniging TTO vertegenwoordigt een groep vooruitstrevende telers welke hun krachten bundelen om gezamenlijk innovaties op te pakken (www.tto.nu). Telersvereniging TTO streeft 'bottom up' innovatie na en doet dit door projecten van derden te faciliteren of zelf projecten op te pakken. Het onderzoek naar het innovatieve teeltsysteem Futagrow is een van de projecten welke TTO uitvoert. Het Futagrow systeem heeft een aantal unieke kenmerken welke mogelijkheden bieden voor energiebesparing in het algemeen en elektriciteitsbesparing in het bijzonder. In de belichtingsperiode van september 2014 tot april 2015 is in opdracht van het energie-onderzoeksprogramma Kas als Energiebron onderzoek uitgevoerd naar "Minimalisering elektriciteitsverbruik belichte tomatenteelt door systeeminnovatie".



Hieronder worden de personen beschreven die het Futagrow Team TTO 2014-2015 vormden:

Projectleiding

- Ing J.E. van Staalduinen Inno-Agro
Inno-Agro is gespecialiseerd in technische innovatieprojecten in de glastuinbouw. Stefan Persoon van Inno-Agro was projectleider van het onderzoek, verantwoordelijk voor de techniek en eindverantwoordelijk voor het onderzoek.

Teelt en organisatie

- A. de Jong Demokwekerij Westland
Demokwekerij Westland faciliteert technische innovatie in de glastuinbouw. Het onderzoek heeft plaatsgevonden in de Demokwekerij. Ary de Jong heeft zorggedragen voor de teelt en het klimaat. Daarnaast is hij verantwoordelijk voor plantmetingen en de experimentele metingen in de proef

Onderzoeker Fotosynthese

- J.F.H. Snel Adviesbureau JFH Snel
Jan Snel is gespecialiseerd in fotosynthesemonitoring voor de tuinbouw.
Site: <http://www.jfhsnel.nl/adviesbureau.html>

Teelt begeleiding

- Hans Zwinkels H.G.L. Zwinkels (Greenlight/Greenbalance)
- Jack Groenewegen Kwekerij Groenewegen
- Jos Kouwenhoven Triomaas
- Jasper Oussoren Oussoren Trostomaten

Dhr. Zwinkels, dhr. Groenewegen, dhr. Kouwenhoven en dhr. Oussoren verzorgden de praktische teeltbegeleiding. Alle kwekers hebben ruime ervaring met de belichte tomatenteelt.

1.2 Futagrow systeem innovatie

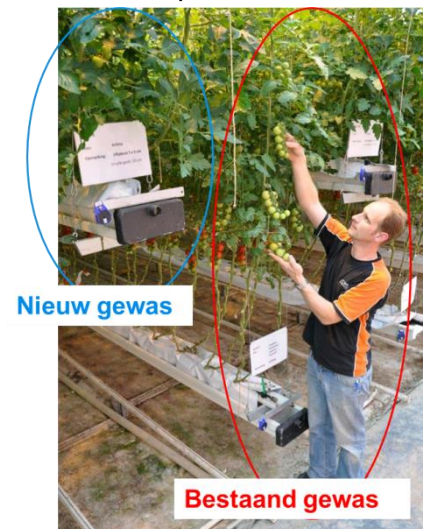
De basis van het innovatie teeltsysteem voor tomaten “Futagrow” ligt in het maximaal benutten van de hoeveelheid natuurlijk licht. In het Futagrow systeem wordt 95% van het binnenkomende licht opgevangen door het altijd jonge en vitale gewas. Korte, elkaar overlappende teeltrondes, op in hoogte verstelbare goten in combinatie met een substraatloze teelt zorgen voor een generatief en stuurbaar gewas.

Continue productie

Het Futagrow teeltsysteem onderscheidt zich van conventionele teeltsystemen voor tomatenteelt in Nederland door een teelt van korte, elkaar opvolgende teeltrondes. Iedere teeltronde beslaat een periode van ca. 18 weken, waarbij het gewas 9 weken opgroeit en 9 weken wordt geoogst. Doordat er altijd twee teeltrondes naast elkaar in de kas plaatsvinden, is er continu productie in de kas. Doordat er een tweede teeltgotensysteem boven het pad hangt, valt er amper licht op de grond en wordt jaarrond meer dan 95% van het beschikbare licht door gewas opgevangen.

Teeltsysteem Futagrow:

- 365 dagen per jaar productie
- Jaarrond lichtbenutting > 95%
- Altijd een jong en vitaal gewas
- Substraatloze teelt
- Dubbel gotensysteem:
 - Goten met opgroeiend gewas
 - Goten met oogstbaar gewas



Afb. 1.1 Jong en oud gewas

Tabel 1.2 geeft het teeltschema schematisch weer

	Even goten	Oneven goten
Week 1	Jong gewas planten	Eerste oogst
Week 9	8 trossen aangemaakt: kop er uit	Laatste oogst, teeltwissel
Week 10	Eerste oogst	Jong gewas planten
Week 18	Laatste oogst, teeltwissel	8 trossen aangemaakt: kop er uit

Tabel 1.2 Teeltschema

Noot: De werking van het Futagrow teeltsysteem is bij de opdrachtgever bekend en wordt niet verder toegelicht.

Duurzaamheid en Carbon Footprint

In het Futagrow teeltsysteem wordt iedere 8 weken de oude teelt gewisseld voor een jong gewas. Op praktijkschaal zal iedere week in 1/8 deel van de kas een teelt gewisseld worden. Hierdoor is er een continue stroom van plantafval, wat bovendien 100% biologisch afbreekbaar is (geen steenwol, geen kunststof touw). De continue stroom van vers plantafval biedt vele mogelijkheden om het organisch afval te hergebruiken in een circulaire economie.

Lage Carbon Footprint

Het Futagrow teeltsysteem maakt efficiënter gebruik van ruimte en middelen dan traditionele teeltsystemen voor tomaat. Er gaat amper licht verloren doordat de kas continu vol staat met gewassen. In de periode dat in traditionele belichte kwekerijen kostbaar licht op de grond valt doordat het gewas nog niet volgroeid is, wordt in het Futagrow teeltsysteem optimaal gebruik gemaakt van al het beschikbare licht.

De gootsystemen in Futagrow zijn in hoogte verstelbaar, waardoor de verdeling van het licht van boven over het jonge en het oude gewas optimaal gestuurd kan worden. Ook wordt het gas nuttiger ingezet, omdat er altijd een volle kas mee wordt verwarmd

Doordat de hele winterperiode productieve planten in de kas aanwezig zijn, is de absolute lichtbehoefte in Futagrow iets hoger dan in een traditionele belichte tomatenteelt. De warmtebehoefte is echter identiek. Doordat de Futagrow kwekerij nooit uit productie is, is de Carbon Footprint van de tomaten in de belichte periode aanmerkelijk lager dan die in traditionele belichte tomatenkwekerijen. Er wordt ruim 20% meer geproduceerd, met een beperkte hoeveelheid extra energie.

2. Doelstellingen Futagrow - 2014/2015

2.1 Inleiding

De Nederlandse glastuinbouwsector dankt haar internationale positie aan haar vermogen om hoogwaardige groente- en sierteeltproducten te leveren. Om jaarrond een goed product te kunnen leveren worden gewassen in de glastuinbouw bij-belicht in de winterperiode. De belichting is in de jaren '80 begonnen bij het gewas roos en heeft zich na meerdere sierteeltgewassen (gerbera, lelie, anthurium etc.) ook sinds 2000 uitgebreid naar de groenteteelt.

De belichte teelt maakt het mogelijk dat bedrijven jaarrond producten kunnen leveren, waardoor personeel, opstanden en installaties jaarrond ingezet kunnen worden.

2.2 Probleemstelling

Bij-belichting van gewassen zorgt voor spreiding van de afzet, maar kost veel energie. Bij een groentebedrijf kunnen de belichtingskosten oplopen tot 270 kWh à +/- €18,00 per m². Dit heeft tot gevolg gehad dat het elektriciteitsverbruik in de glastuinbouwsector is gestegen van 4,2 miljard kWh in 2005 naar 6,2 miljard kWh in 2011 (bron : LEI). De grootste groei hiervan komt op het conto van de belichting in de glasgroenten (voornamelijk tomaat).

In opdracht van het programma Kas als Energiebron is onderzoek gedaan naar de toepassing van energiezuinige belichtingssystemen en lichtintegratie in het duurzame teeltsysteem Futagrow.

2.3 Doelstelling

Doelstelling van de proef is om minimaal 23% elektrische energie te besparen in de proefafdelingen B en C, ten opzichte van proefafdeling A, door op specifieke momenten van de teelt de belichting uit te schakelen.

Gewenst resultaat: Een besparing op elektrische energie per m² kas van en minste 23% (= 31% t.o.v. 100% SonT)

2.4 Inpassing Kas als Energiebron

Inpassing in HNT Elektra

Door WUR zijn i.o.v. KaE vijf denkrichtingen opgesteld m.b.t. HNT elektra.

1. Zoveel mogelijk molen natuurlijk licht in de kas
2. Zoveel mogelijk molen uit een kWh elektra in de kas
3. Zoveel mogelijk molen onderscheppen door het gewas
4. Zoveel mogelijk assimilaten uit een onderschepte mol
5. Zoveel mogelijk assimilaten naar te oogsten vruchten

Futagrow draagt bij aan het behalen van een aantal van deze punten. Doordat er altijd met een vitaal gewas wordt geteeld, door de jaarrond hoge lichtabsorptie (95%) en doordat er modelmatig geteeld wordt, zijn punten 3 t/m 5 in Futagrow veel sterker aanwezig dan in een traditionele tomatenteelt.

2.5 Proefopzet

Het energiebesparingsonderzoek is uitgevoerd in een kasafdeling van 540 m² welke is opgedeeld in drie proefvakken van ieder 180 m² (1/3).

Afdeling A: Referentie met hybride topbelichting

Afdeling B: Proef met hybride topbelichting en tussenlicht

Afdeling C: Proef met hybride topbelichting en tussenlicht.

Het verschil tussen behandeling B en C is dat in behandeling C de groeipunt belichting tussen de kop van het gewas hangt en in behandeling B ca. 25cm boven de kop van het gewas gepositioneerd is. Bovendien worden in C minder belichtingsuren aangehouden waar mogelijk.

Het onderzoek is uitgevoerd in een onderzoeksafdelingen van Demokwekerij Westland. In tabel 2.1 zijn de specificaties van de kasafdeling weergegeven.

1	Kastype	Venlo
2	Tralie	8 m
3	Vakmaat	4,5 m
4	Oppervlakte	24 x 22,5 m = 540 m ² (incl. pad 1,5 m)
5	Poothoogte	6 m
6	Luchting	2 ruits
7	Gootsysteem	2x5 goten in 8 m; hoogte instelbaar
8	Watergift	druppelsysteem continu volgens Futagrow principe
9	Substraat	Geen (teelt op water)

Tabel 2.1 Specificaties onderzoeksafdeling

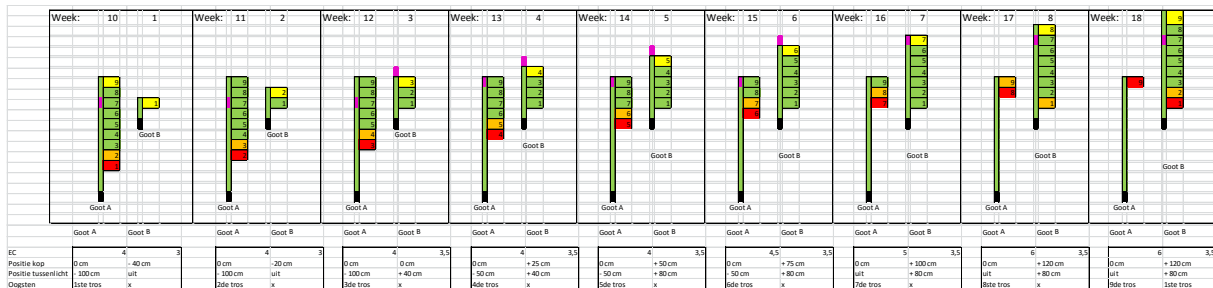
Strategie

Futagrow is een compleet ander teeltsysteem ten opzichte van traditionele teeltwijzen. Door de korte teeltrondes kan lichtintegratie per gewasstadium worden geoptimaliseerd en wordt maximaal energie bespaard.

Het tussenlicht wordt daar gepositioneerd waar het op dat moment van de teelt nodig is en wordt uitgezet als het op dat moment van de teelt niet nodig is.

De grote lijn hierin is:

- Week 1 t/m 3: De eerste drie weken van de teelt heeft het jonge gewas weinig plantbelasting en kan het tussenlicht uit.
- Week 4 t/m 7: Vanaf tros 4 wordt de LED- balk bij het groeipunt van de jonge plant geplaatst (groeipunt belichting), waar het licht en warmte afgeeft.
- Week 8 t/m 15: Vanaf tros 7 groeit de plant om de LED-balk heen en fungeert het als tussenlicht, waarbij de buik van het gewas belicht wordt en de lampwarmte als groeibuis fungeert.
- Week 16 t/m 18: De laatste 3 trossen rijpen af zonder tussenlicht.



Groot verschil is dat bij een normale teelt iedere week 1 tros wordt aangemaakt en 1 tros wordt geoogst van dezelfde plant. Bij Futagrow vind de aanmaak en de oogst op fysiek verschillende planten plaats. Door de korte, elkaar opvolgende teelten met Futagrow, wijzigt de lichtbehoefte van de individuele plant iedere week. Een jonge plant met 3 aangemaakte trossen heeft een week later 4 trossen terwijl het oude gewas iedere week een tros kwijtraakt. In de proefbehandelingen wordt deze variatie in lichtbehoefte en levensfase van de individuele plant meegenomen in de lichtintegratie. Doordat boven iedere goot afschakelbare groeipunt belichting/tussenlicht gemonteerd wordt, zijn er veel mogelijkheden om het gewas in een bepaalde periode meer of minder te belichten.

Het aanpassen van de lichtintegratie gebeurt door het variëren van goothoogten ten opzichte van elkaar (voor licht van bovenaf) en door het aan-/uitschakelen van tussenlicht.

Optimalisering fotosynthese in het voor- en najaar

Onderzocht is welk deel van de plant in welke periode van de teelt welke mate van fotosynthese efficiëntie heeft. Door middel van fotosynthesemetingen is onderzocht of een bepaald type belichting op een bepaald deel van de dag en in een specifieke levensfase van de plant wel of niet zinvol is, met als uiteindelijk doel de inefficiënte belichtingsuren te vermijden. De verwachting is gemiddeld 1 tot 1,5 uur minder belichting per dag (8% besparing).

Groeibuiseffect

De LED balken geven geen stralingswarmte af, maar wel convectiewarmte. De tussenlicht armaturen worden tussen het gewas gepositioneerd, waar de vochtproblemen ontstaan. De warmte van het tussenlicht hoeft niet met de buis ingebracht te worden. In eerder onderzoek is een grote invloed van tussenlichtwarmte op het jonge gewas waargenomen (groeibuis effect). De positie dicht bij de wortels was niet optimaal omdat vooral tros 1 t/m 3 hiervan profiteerden en de plant in onbalans brachten. Met de positie van het tussenlicht nabij de kop is het mogelijk om een lagere minimum buis aan te houden en meer uren te scherm.

In de opgroefase van de teelt heeft het de LED balk een groeibuis effect op de kop van het gewas, waarmee het groeipunt positief beïnvloed wordt en gecompenseerd wordt voor het ontbreken van stralingswarmte van LED armaturen boven het gewas. In de afrijpingsfase van de teelt hangt de LED balk tussen het gewas en heeft naast belichting ook een drogend effect op het gewas en geeft het een opwarming van de vruchten (=sink).

Schermen i.r.t. LED

Ca. de helft van de topbelichting bestaat uit LED. Het ontbreken van warmtestraling op de kop leidt er toe dat met LED belichting intensiever geschermd moet worden. Ook het toepassen van relatief weinig topbelichting in afdeling B en C ten opzichte van A kan voor een temperatuur verschil in de kop van het gewas zorgen. Door de positie van het tussenlicht dicht bij de kop van het gewas wordt het risico op een 'koude' kop aanzienlijk beperkt. De scherminstellingen worden geoptimaliseerd voor afdeling B en C.

2.5.1 Fotosynthese onderzoek

Met continue monitoring van de het fotosynthese proces in de plant is onderzocht welk deel van de plant in welke periode van de teelt welke mate van fotosynthese efficiëntie heeft. Met deze fotosynthesemetingen is tevens onderzocht of een bepaald type belichting op een bepaald deel van de dag en in een specifieke levensfase van de plant wel of niet zinvol is, met als uiteindelijk doel de inefficiënte belichtingsuren te vermijden. De verwachting was 1 tot 1,5 uur minder belichting per dag (8% besparing).



Met de HEX-Pam meetapparatuur, een doorontwikkeling van de Plantivity meters, heeft Jan Snel fotosynthetisch elektronentransport gemeten op verschillende niveaus in het gewas. Hiermee is de lichtbehoefte en vervolgens de lichtabsorptie van het oude en van het jonge gewas in de verschillende groeistadia gemeten. Deze monitoring moet antwoord geven op de volgende vragen:

- Op welke momenten is het groeilicht effectief?
- In welke uren zou het kunstlicht uit kunnen?
- Kan de teelt (plantbalans) geoptimaliseerd worden door te sturen met:
 - o Belichtingsduur van groeipunt en duur tussenlicht?
 - o Hoogte van de goten ten opzicht van elkaar?

Uit deze metingen is gebleken dat alle bladeren van de tomatenplant even efficiënt licht omzetten zolang het lichtniveau onder de $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ blijft. In de belichtingsperiode komen deze lichtniveaus voor in maart en april. Bovendien is de variatie in licht van buiten dan veel groter. In de wintermaanden geeft afschakelen van groeilicht een lineaire afname van ETR (en daarmee van fotosynthese). In de randmaanden maart en april lijken de mogelijkheden voor het afschakelen van kunstlicht. Doordat de zon in deze maanden nog laag staat komt het buitenlicht vooral bovenin het gewas. Vanuit deze redenatie heeft het de voorkeur om eerst de topbelichting en later pas het tussenlicht uit te schakelen.

Het complete monitoringsverslag is in bijlage 1 van dit rapport bijgevoegd.

2.5.2 Belichtingssystemen

In deze paragraaf worden de gebruikte belichtingsinstallaties beschreven.

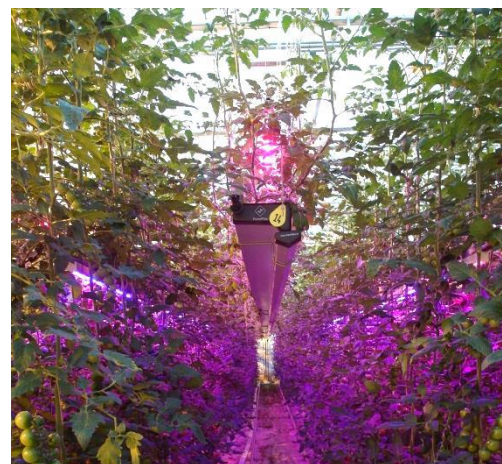
Proefvak A: Referentie (Hybride top belichting)

Referentie afdeling A wordt belicht met conventionele SON-T topbelichting in combinatie met LED topbelichting, welke in twee stappen schakelbaar is. Per tralie zijn 3x 1.000W SON-T armaturen en 2x 600W LED armaturen geïnstalleerd.

Proefvak B & C: Hybride top belichting en tussenlicht

Onderzoeksafdeling B wordt belicht met conventionele SON-T topbelichting in combinatie met LED topbelichting en LED tussenbelichting, welke in vier stappen schakelbaar is. De tussenlichtarmaturen hangen boven iedere goot en zijn naar beneden gericht. De tussenlichtarmaturen zijn in hoogte verstelbaar.

Het totale lichtniveau is alle drie de proefvakken gelijk, maar de verdeling van licht over lichtbronnen verschilt (tabel 2.5). In proefvak B en C is 1 SonT armatuur vervangen door LED tussenlicht, hiermee is het geïnstalleerde vermogen per m² iets lager (tabel 2.4).



Afb. 2.3 Tussenlicht afd. B en C

Tabel 2.4 Vermogen belichting				
Armatuur:	Ref. A	Proef B	Proef C	
SonT 1000	88	58	58	W/m ²
LED top	33	33	33	W/m ²
LED tussen jong		12	12	W/m ²
LED tussen oud		12	12	W/m ²
Totaal	121	116	116	W/m ²
Percentage	100%	96%	96%	

Tabel 2.5 Licht niveau				
Armatuur:	Ref. A	Proef B	Proef C	
SonT 1000	149	99	99	uMol/m ² /s
LED top	70	70	70	uMol/m ² /s
LED tussen jong		25	25	uMol/m ² /s
LED tussen oud		25	25	uMol/m ² /s
Totaal	219	219	219	uMol/m ² /s
Percentage	100%	100%	100%	

2.5.3 Proefduur en teeltgegevens

De proef is gestart op 22-8-2014 met het aanplanten van teelt 1. De belichting heeft van 20-9-2014 tot 15-4-2015 gebrand. Alleen de vruchten die in de belichtingsperiode zijn ontwikkeld worden meegenomen in de analyse. In deze periode zijn 3 teeltrondes geheel gevolgd.

Teelt	Goten	Plantdatum	1e oogst	laatste oogst	Planten / m ²	Gewenste Lichtsom / dag [mol/m ²]	Vruchten per tros
1	oneven	22-8-2014	21-10-2014	30-12-2014	3,5	19,6	9
2	even	27-10-2014	31-12-2015	3-3-2015	3	17,2	8
3	oneven	19-12-2014	10-3-2015	12-5-2015	3,5	19,6	8

Teelt gegevens:

Tomaten ras: Brioso (RijkZwaan)
Type tomaat: Cocktail (40 gram)
Etmaal temperatuur: 19 tot 20 °C

Teelt 1

Het uitgangsmateriaal van teelt 1 was zwak en te generatief. Om het gewas op weg te helpen is de jonge plant 15 cm extra boven het oude gewas gezet.

Er was begin september voldoende buitenlicht, alle lichtbronnen hebben tot 22 september uitgestaan. Opvallend is dat tros 5 en 6 in B zwakker aangelegd zijn dan in C. Door de toenemende plantbelasting zijn dit altijd moeilijke trossen. Tijdens het aanleggen van deze trossen was de belichtingsduur gelijk, maar de positie van het tussenlicht niet. De locatie van het tussenlicht in afdeling C, tussen de kop van het gewas, lijkt het gunstigst. In de volgende teeltrondes is bij aanvang van de teelt het tussenlicht bij de kop van het gewas gepositioneerd.

In de afdelingen met tussenlicht lijken de trossen minder te strekken en eerder grof worden. De trossteel is wel langer, wat eerder tot kniktrossen leidt. Mogelijk zorgt de warmte van het tussenlicht ervoor dat bloeiende trossen te snel grof worden. Het eerder grof worden zorgt in de eerste teeltronde voor onbalans. De trossen zijn niet eerder oogstbaar dan in A, maar volgen een ander ontwikkelingspatroon.

Het blad in afdeling B is smaller en langer dan in A en C. Het blad is sowieso gratiger en opener als in de praktijk. Er is geen blad geplukt.

Omdat teelt 2 een week later geplant kon worden dan de planning, is het gewas van teelt 1 op 10 trossen gekopt, terwijl 9 trossen de planning was. Ook is de afrijping van de laatste 3 trossen iets vertraagd door rustiger af te rijpen. Op deze wijze is de aansluiting met teelt 2 geoptimaliseerd, en is het productieverlies door de latere plantdatum van teelt 2 uitgespreid over 2 perioden zonder dat er een echt gat valt.

Tijdens het kappen (halverwege de teelt) was afdeling B het meest ontwikkeld. Deze stond het magerst en was hoger gaan bloeien (generatief).

Afdeling A is de referentie, hier wordt een optimale teelt en productie nagestreefd, terwijl in afdeling B en C naast optimale teelt ook energiebesparing wordt nagestreefd. In afdeling C wordt op 8 gesnoeid i.p.v. 9 vruchten per tros om plantbelasting in balans te houden met het aangeboden licht. Dit scheelt dus sowieso 11% productie in stuks.

Vruchtgewichten en vruchtkwaliteit zijn goed in teeltronde 1.

Bij het afrijpen zijn de rijen waar SonT recht boven hangt in afdeling A en B eerder oogstbaar dan de rijen waar LED lampen boven hangen. Mogelijk is dit het gevolg van stralingswarmte op vruchttemperatuur.

In afdeling A is meer licht gegeven dan in B en C. Tussenlicht lijkt op zichzelf niet tot meer productie te leiden, maar geeft wel een generatieve sturing. De vrucht in afdeling B is eerder grof. Het tussenlicht is de laatste 3 weken van de teelt uitgezet. Dit heeft een direct resultaat op de vruchtdiameter, welke vanaf dat moment achterblijft. Gedurende de teelt was de productie in afdeling A en B gelijk, op de laatste 2 trossen na. Die waren in afdeling A zwaarder.

Teelt 2

In het begin van de teelt, eerste week november, zijn er verschillen zichtbaar tussen de behandelingen.

Afdeling A: te sterk

Afdeling B: sterk

Afdeling C: zwakker en vegetatiever

Er is een iets hogere etmaal ingesteld om snelheid erin te houden.

Ook deze teeltronde zijn de vruchten in afd. B eerder grof. Mogelijk is dit het groeibuiseffect. De eerste trossen hebben grotere vruchtdiameters in afdeling B en C.

Vanaf half november brandt de belichting in afdeling A de maximale 18 uur.

December was een bijzonder donkere maand. De gewenste lichtsom in afdeling A is daardoor structureel niet gehaald. De verschillen tussen de behandeling halverwege de teelt:

Afdeling A: enige onbalans

Afdeling B: kleiner blad, mooi in balans

Afdeling C: zwakker en vegetatiever

Ook zijn er problemen met zetting doordat hommels niet vliegen. Door veel wind en lage buitentemperaturen wordt veel geschermd om temperatuur te halen. De hommels hebben te weinig buitenlicht om te kunnen vliegen. Ook praktijkbedrijven hebben hier last van. De laatste 5 trossen hebben zettingsproblemen. In afdeling A is de meeste miszetting en in afdeling B de minste miszetting. Hierdoor is de plantbelasting in afdeling B relatief hoger. Bij het oogsten van deze laatste trossen was vooral de kwaliteit in A ondermaats. Afdeling B was goed.

Bij het oogsten van de eerste trossen ligt afdeling A achter op B en C (B en C zijn eerder oogstbaar). Afdeling B was ook een week eerder leeggeogst dan afdeling A. De vruchtgewichten in A en B zijn goed, maar in afdeling C zijn de vruchtgewichten 10% te laag.

In afdeling C waren de trossen ook op 8 vruchten gesnoeid in plaats van 9 vruchten. Bij elkaar geeft dit een productieverschil van ca. 21%.
Teelt 2 is gekopt op 10 trossen.

Smaak:

Behalve smaaktesten door WUR is ook door de begeleidende telers een blinde smaaktest gedaan. Zowel tomaten uit afdeling A als B werden lekker ervaren. De tomaten uit afdeling C werden als flauw en niet lekker aangemerkt. Door de telers werd dit toegeschreven aan energietekort en traagheid.

Naar het einde van de teelt was veel bladslijtage te zien in afdeling A, maar in de afdelingen met tussenlicht slijt het oude blad opvallend minder hard. Om problemen met schimmel op dood blad te voorkomen is het versleten blad weggehaald.

In verband met het verlies aan vruchtgewicht door het uitschakelen van de tussenbelichting in de laatste 3 weken van de teelt is gekozen het tussenlicht te laten branden.

Teelt 3

Afdeling A start vegetatiever in vergelijking met afdeling B. De eerste weken na de plantdatum waren erg donker. Vier weken na plantdatum wordt de achterstand ingehaald met toenemend buitenlicht.

Vijf weken na plantdatum staat afdeling A iets beter in balans dan B. Het gewas van B blijft slanker dan in afdeling A. De iets hogere plantbelasting in het begin van de teelt trekt nu zwaarder aan de plant van afdeling B. De tomaten in afdeling B kleuren een week eerder dan afdeling A, maar afdeling C is nog sneller met kleuring. Ook heeft afdeling B wat bladrandjes. Afdeling B is een week eerder leeggeogst.

De eerste week van de teelt heeft het tussenlicht in afdeling B uitgestaan. In C heeft het twee weken uitgestaan. Bij instraling >300W gaat vanaf eind januari ook de SonT belichting in C uit.

Afdeling C heeft moeite de punt van de tros af te maken. Opvallend is ook dat de plant in afdeling C minder wortels heeft, welke er wel beter uitzien dan in afdeling A en B. Ook kleuren de vruchten van C eerder. Het gewas in C is verder mooi in evenwicht. Naar het einde van de teelt toe wordt de plant in afdeling C snel zwakker en neemt ook de vruchtkwaliteit en het vruchtgewicht af. Teelt 3 is gekopt op 11 trossen.

3. Resultaten

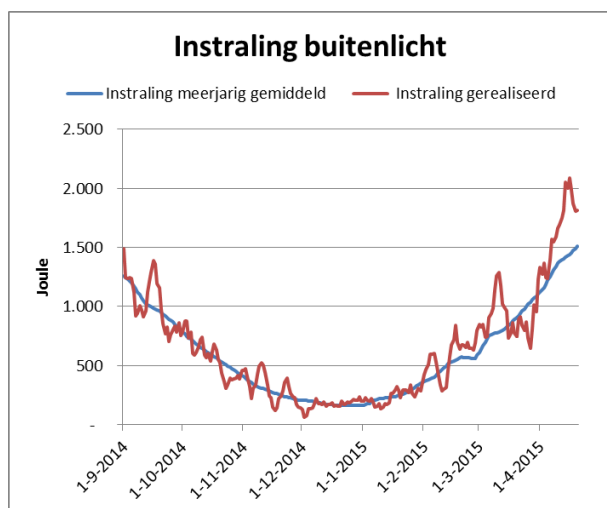
3.1 Licht en belichting

Belichtingsperiode:

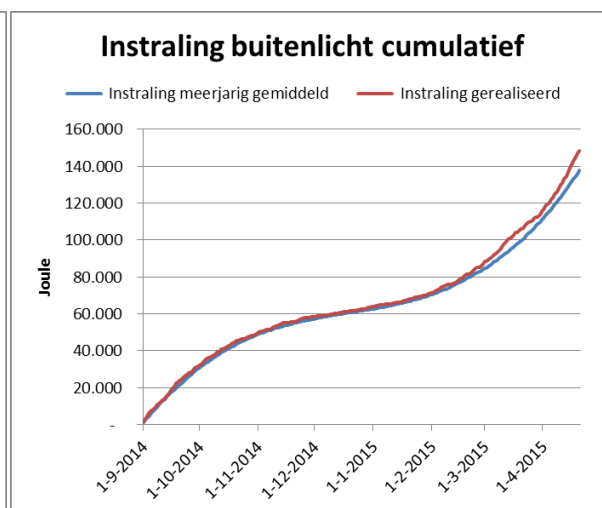
De teelt, het energieverbruik en de productie zijn onderzocht in de periode van 22 september 2014 tot 15 april 2015. In deze periode is het buitenlicht schaars en wordt intensief bijbelicht met kunstlicht. In de onderzoeksafdeling is het aandeel kunstlicht wat hoger dan in praktijkbedrijven doordat de kas minder natuurlijk licht doorlaat dan een praktijkbedrijf.

Buitenlicht:

In afbeelding 3.1 en 3.2 is de gerealiseerde instraling afgezet tegen het meerjarig gemiddelde. Over de hele periode is de instraling in lijn met het meerjarig gemiddelde. Vanaf half maart is er zelfs iets meer instraling.



Afbeelding 3.1 Buitenlicht cumulatief



Afbeelding 3.2 Buitenlicht

Lichtintegratie

Op de belichtingsduur is in alle afdeling lichtintegratie toegepast. Aan de hand van plantbelasting is de gewenste lighthoeveelheid per goot bepaald. Op basis van de verwachte en gerealiseerde hoeveelheid buitenlicht, zijn de belichtingsuren per dag bepaald.



Afb. 3.3 Lichtsom per dag A versus B



Afb. 3.4 Lichtsom per dag A versus C

Belichtingsduur per dag:

In behandeling A is de belichting gehanteerd zoals die gebruikelijk is in de praktijk.

In behandeling B is op bepaalde momenten in de teelt het tussenlicht uitgeschakeld om energie te besparen en het gewas te sturen.

In behandeling C is behalve het tussenlicht ook de topbelichting op een eerder moment gestart met afschakelen o.b.v. instraling.

Tussenlicht uitschakelen:

De planning was om de eerste 3 weken en de laatste 3 weken van de teelt het tussenlicht uit te schakelen.

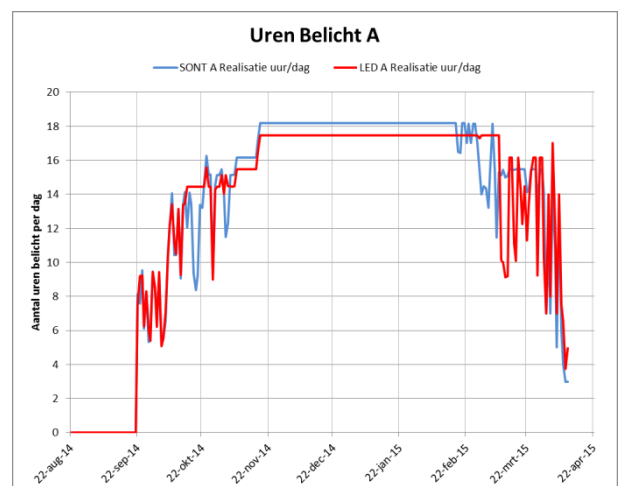
Aanvang teelt 2 eind oktober: In behandeling B is aan de hand van de stand van het gewas besloten om het tussenlicht na 1 week toch aan te zetten.

In afdeling C heeft het tussenlicht 2 weken uitgestaan.

Einde teeltronde 1 eind december: het tussenlicht heeft in zowel behandeling B als C drie weken uitgestaan.

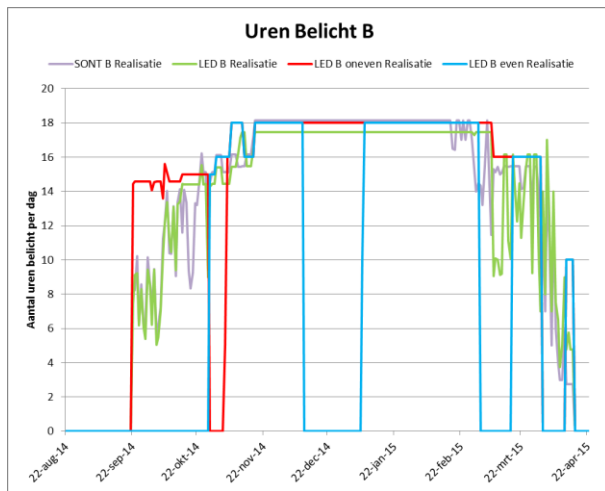
Aanvang teelt 3 begin januari: in B heeft de 1^e week het tussenlicht uitgestaan. In behandeling C heeft het tussenlicht bij 3 weken uitgestaan.

Einde teeltronde 2 eind februari: alleen het tussenlicht in afdeling C heeft drie weken uitgestaan, in B is besloten het tussenlicht te laten branden in verband met verlies van

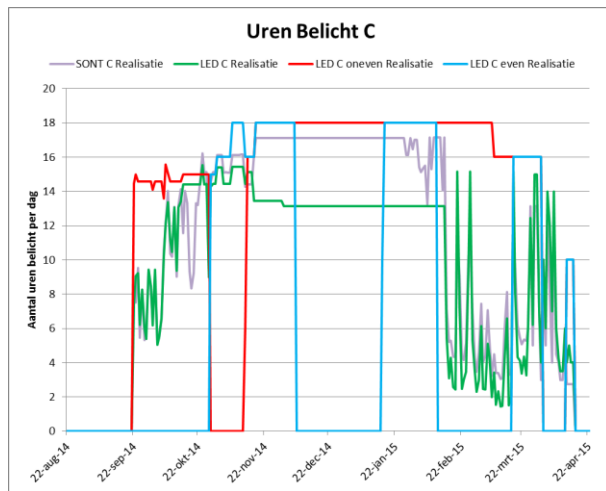


Afbeelding 3.5 belichtingsuren referentie

vruchtgewicht. Bij de start van teelt 4 (buiten beschouwing gelaten) heeft het tussenlicht in zowel B als C 2 weken uitgestaan. Zie afbeelding 3.6 en 3.7.



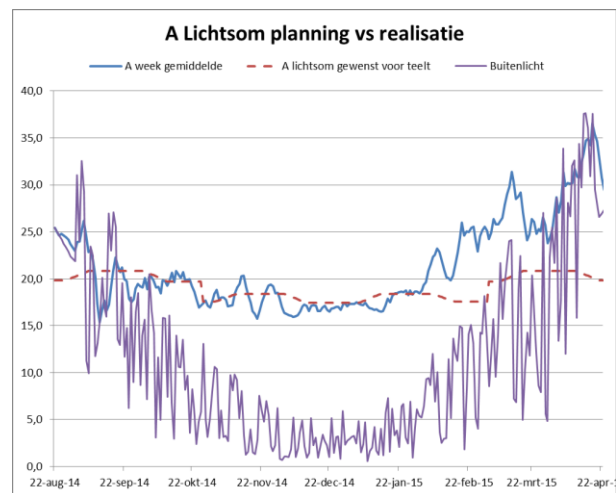
Afbeelding 3.6 Belichtingsuren proef



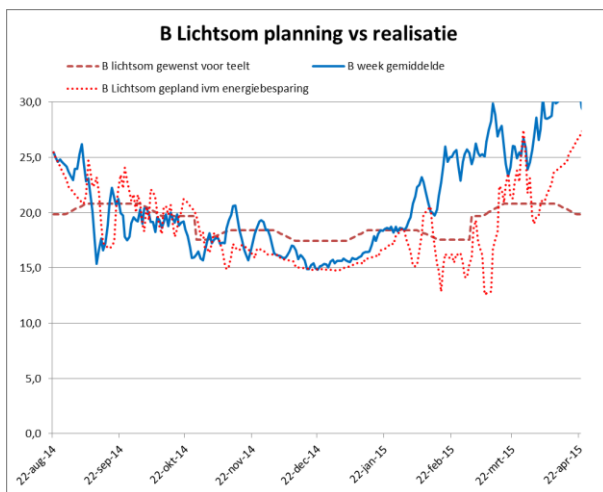
Afbeelding 3.7 Belichtingsuren proef

Geplande versus gerealiseerde belichtingssom

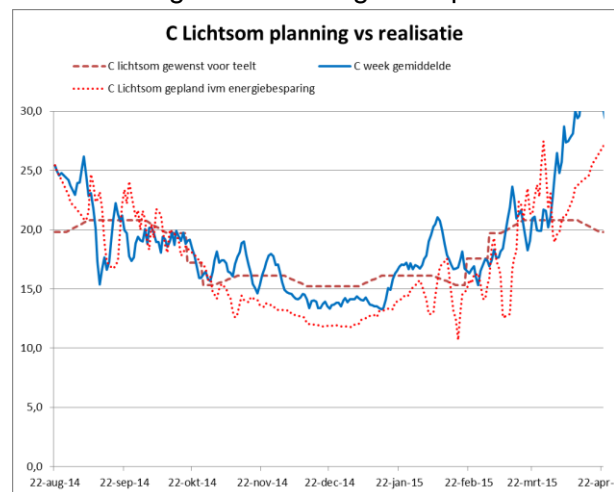
Afbeelding X t/m Y is de gerealiseerde lichtsom en de geplande lichtsom per behandeling weergegeven. In de referentie wordt de geplande lichtsom aangehouden. Met toenemend buitenlicht is meer licht toegelaten. In behandeling B is eenzelfde beeld te zien. Wel is hier de geplande lichtsom lager i.v.m. de gewenste energiebesparing. In behandeling C is de geplande lichtsom met name in de donkerste periode niet gerealiseerd. De stand van het gewas liet een nog lagere lichtsom niet toe.



Afbeelding 3.8 Belichtingsuren proef



Afbeelding 3.9 Belichtingsuren proef



Afbeelding 3.10 Belichtingsuren proef

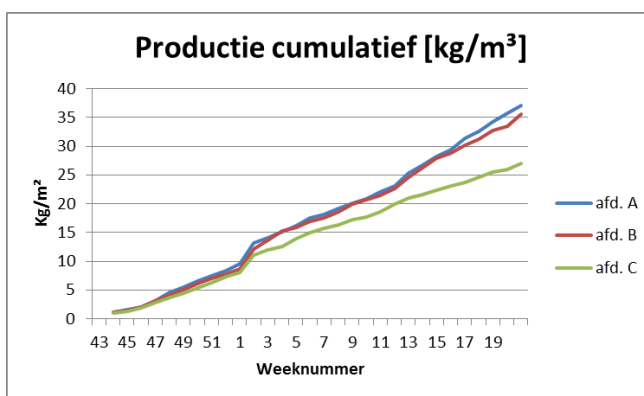
In tabel 3.11 en 3.12 is per behandeling de gerealiseerde lichtsom en belichtingssom weergegeven.

Tabel 3.11 Gerealiseerde lichtsom			
Ref. A	Proef B	Proef C	
4.265	4.176	3.697	mol/m ²
100%	98%	87%	%

Tabel 3.12 Gerealiseerde belichtingssom			
Ref. A	Proef B	Proef C	
2.438	2.349	1.871	mol/m ²
100%	96%	77%	%

Productie:

Vanaf half oktober is er geoogst van het gewas. In afbeelding 3.13 is de productie per week weergegeven. De productie per week van afdeling A en afdeling B lopen grotendeels gelijk op. De productie in de afdeling A loopt half april iets uit op B, maar zoals genoemd was de kwaliteit van behandeling A onvoldoende door zettingsproblemen. De productie in afdeling C loopt in de eerste teeltronde gelijk op, maar bij het leegooosten ligt C toch ruim een kilo achter. In de 2^e en 3^e teeltronde blijft de productie is behandeling C constant, maar op een lager niveau dan A en B.



Afbeelding 3.13 Productie cumulatief

Tabel 3.14 Productie per teeltronde			
Teeltronde	Afd. A	Afd. B	Afd. C
1	12,42	11,17	9,83
2	10,03	10,25	8,71
3	14,61	14,03	8,49
totaal	37,1	35,5	27,0
	100%	96%	73%

In tabel 3.15 is de lichtsom van kunstlicht gedeeld door de productie. In tabel 3.16 is het elektriciteitsverbruik gedeeld door productie. Dit geeft een indruk van de efficiëntie van de behandelingen.

Tabel 3.15 Belichtingssom Mol per kg			
Ref. A	Proef B	Proef C	
65,8	66,2	69,2	mol/kg
100%	101%	105%	

Tabel 3.16 Elektriciteitsverbruik per kg			
Ref. A	Proef B	Proef C	
10,1	9,7	10,2	kWh/kg
100%	97%	101%	

4. Analyse, discussie en conclusie besparingsonderzoek

4.1 Analyse:

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de prestaties van de proefafdelingen ten opzicht van de referentieafdeling.

	Ref. A	Proef B	Proef C
Geïnstalleerd vermogen	100%	96%	96%
Geïnstalleerd lichtniveau	100%	100%	100%
Gerealiseerde lichtsom	100%	98%	87%
Gerealiseerd elektriciteitsverbruik	100%	92%	74%
Gerealiseerde productie	100%	96%	73%

Afdeling A versus afdeling B

Om de effecten van het tussenlicht op specifieke onderdelen van het gewas, en het groeibuiseffect goed te kunnen onderzoeken is ervoor gekozen om in behandeling B dezelfde belichtingsuren voor de topbelichting (van bovenaf) aan te houden als in de referentie. Eventuele verschillen zouden anders aan te veel variabelen kunnen liggen. In de analyse van de vergelijking tussen afdeling A en B wordt dan ook vooral gekeken naar de effecten van het tussenlicht.

Bij aanvang van teelt 1 stond het licht overal nog uit. Dit was eind augustus. Circa 4 weken na aanvang van de teelt is de belichting ingeschakeld. Er is gestart met 14 uur tussenlicht op het jonge gewas en 8 uur topbelichting. In deze teeltronde hing het tussenlicht tot aanleg van tros 7 op ca. 25 cm boven de kop. Het blijkt gunstiger om het tussenlicht dichterbij de kop te positioneren waarmee de warmte van het ledarmatuur bij de kop wordt afgegeven.

Ten opzichte van behandeling A lijken de trossen minder te strekken en worden ze eerder grof. De eerste teeltronde waren ze niet eerder oogstbaar.

In deze periode van het jaar en van de teelt lijkt tussenlicht nabij de kop het meest gunstig. Het tussenlicht veroorzaakt een iets ander ontwikkelingspatroon, namelijk bij aanvang worden zorgt het voor “meer op de vruchten staan” van de plant. Bij het afrijpen van de vruchten heeft het tussenlicht 3 weken uitgestaan en is de kleine voorsprong die afdeling B had verloren gegaan door verlies van vruchtgewicht.

Bij aanvang van teelt 2 is ervoor gekozen om het tussenlicht eerder aan te zetten, namelijk 1 week na plantdatum. Begin november stond de belichting al ca. 16 uur per dag aan. De jonge plant in behandeling B stond sterk, maar in A stond de plant sterker. Het tussenlicht armatuur is bij de kop van het gewas gehangen en is met de opgroeiende plant mee bewogen tot ca. tros 7, waarna de plant verder groeide en het tussenlicht is blijven hangen. Het tussenlicht schijnt omlaag op de bladeren onder tros 7. December 2014 was een erg donkere maand. Er is veel geschermd waardoor hommels niet voldoende vlogen en de laatste trossen van A miszetting vertonen. Hierdoor is een verschil in plantbelasting ontstaan tussen A en B. Afdeling B was halverwege de teelt verder en had meer vruchten hangen. Ook waren de vruchten in B eerder oogstbaar. Het tussenlicht heeft deze teeltronde een positief effect gehad op de ontwikkeling van jonge trossen (sterk aangelegd) en op de uitgroei van de vruchten (groeibuiseffect).

Bij aanvang van teelt 3 heeft het tussenlicht in B 1 week uitgestaan. De eerste weken van de teelt waren erg donker. Afdeling A was vegetatiever en trager dan afdeling B. De plantbelasting in afdeling B neemt hierdoor sneller toe dan in afdeling A. Na een maand neemt het buitenlicht toe en haalt afdeling A de achterstand in. Er is wel een verschil in balans tussen de afdelingen. B was eerder belast, veroorzaakt door de energie van het tussenlicht. Het verschil is niet groot en leidt niet tot problemen in B maar is wel zichtbaar. A staat nu beter in balans. De uitgroei van B gaat sneller dan in A. De trossen zijn een week eerder oogstbaar.

Analyse effecten tussenlicht op aanleg en uitgroei van vruchten

Aanleg van trossen (bloei):

De positie van het tussenlicht nabij de kop van het gewas in het begin van de teelt heeft een positief effect op de aanleg van sterke trossen. Een tros die in aanleg niet goed is, kan tot problemen als ongelijke vruchten en scheur leiden. Dit is een zeer belangrijke fase in de ontwikkeling omdat het maar één keer goed of fout kan gaan.

Uitgroei van vruchten:

De uitgroeisnelheid van de vruchten waar het tussenlicht armatuur nabij hangt is hoger. De temperatuur (en mogelijk het licht (source) nabij de lager gelegen vruchten) leidt tot eerder zwellen en eerder kleuren van de vruchten. Mogelijk komt dit door een combinatie van een relatief hogere temperatuur van vruchten (sink) en door de relatief hogere aanmaak van suikers nabij de vruchten (source). In de randmaanden geeft tussenlicht de mogelijkheid om te sturen met de verdeling van licht, dus de mogelijkheid om de uitgroei in een te snel gewas af te remmen door tussenlicht minder te laten branden en topbelichting meer te laten branden. Op deze wijze gaat de uitgroei iets langzamer (minder energie naar vruchten) maar krijgt de kop van het gewas en daarmee de aanleg van jonge vruchten wel voldoende energie. In de donkerste periode van het jaar staan alle lichtbronnen maximaal aan en leidt het afschakelen van tussenlicht tot minder suikers in het totaal. Dit is bij het afschakelen van het tussenlicht in de laatste weken van teelt 1 ondervonden.

Advies uit deze analyse is dat het bij toepassing van tussenlicht belangrijk is om voorafgaand aan de donkerste periode de plantbelasting nabij het tussenlicht armatuur liever iets te laag dan iets te hoog te hebben.

Afdeling A versus Afdeling C

In afdeling C is getracht om met minimaal benodigde belichting een constant producerend gewas te realiseren.

Bij aanvang van teelt 1 stond het licht overal nog uit. Dit was eind augustus. Circa 4 weken na aanvang van de teelt is de belichting ingeschakeld. Er is gestart met 14 uur tussenlicht op het jonge gewas en 8 uur topbelichting. Dit was hetzelfde als in afdeling B omdat de plant een aantal weken was opgegroeid met voldoende buitenlicht. Wanneer er nu minder licht gegeven zou worden, zou de verhouding tussen plantbelasting en licht direct uit balans zijn. In deze teeltronde hing het tussenlicht tot aanleg van tros 7 nabij de kop. Dit blijkt gunstiger dan de positie boven de kop.

Vanaf het moment dat half november de belichting in de andere afdelingen maximaal brandt (18 uur) is in afdeling C de SonT op maximaal 17 uur per dag, de LED topbelichting op maximaal 13,5 uur per dag en het tussenlicht op maximaal 18 uur per dag aangezet. De

afrijping van het gewas heeft vanaf tros 5 minder licht gekregen dan in afdeling A en B. Hier is op geanticipeerd door de laatste trossen in C op 8 vruchten per tros te snoeien. De kwaliteit van het product is in teeltronde 1 voldoende.

Bij aanvang van teelt 2 heeft het tussenlicht 2 weken uitgestaan. De trossen in C zijn direct op 1 vrucht minder gesnoeid dan in A en B. Ook is het gewas veel ongelijker in C.

Met het toenemen van de plantbelasting gaat het gewas al snel minder krachtig staan dan in de andere afdelingen. Ondanks de lagere plantbelasting heeft het gewas een energietekort. Dit uit zich ook in beperktere aanmaak van wortels, welke overigens wel gezond zijn. De eerste trossen hebben eerder een grotere vruchtdiameter dan in afdeling A. De eerste trossen zijn eerder oogstbaar dan in A. De volgende trossen van C hebben echter een fors lager vruchtgewicht en zijn van mindere kwaliteit.

Bij aanvang van teelt 3 heeft het tussenlicht weer 2 weken uitgestaan. Om de productie constant te houden in de belichte periode en om energie te besparen is met toenemend buitenlicht vanaf half februari de topbelichting helemaal uitgeschakeld zodra het buitenlicht boven de 300W instraling kwam. Ook is de plantbelasting 10% lager gehouden door snoei op 8 in plaats van 9 vruchten per tros. Opvallend is dat de plant er in de opgroeiperiode eigenlijk heel mooi bij stond, afgezien van het beperkt aanleggen van wortels en de moeite om de laatste tros van de vrucht af te maken. Later in de teelt wordt de plant zwak en gaat de vruchtkwaliteit en het gewicht achteruit. Dit wordt gewijd aan het zwakke wortelgestel en het eerder afschakelen van het licht. Deze teelt is op het randje geteeld, waarbij in de aanleg te weinig in de plant is geïnvesteerd (hij had niet genoeg over voor wortels en de laatste vrucht van de tros). Naarmate de plantbelasting toenam kwam de plant steeds zwakker te staan. Er zijn initieel te weinig wortels aangelegd en bij toenemende plantbelasting komt de aanmaak van wortels ook op de tweede plaats.

Analyse: wellicht had het tussenlicht in de donkerste periode, in de opgroeifase van de teelt, uit moeten in afdeling C. Door de warmte bij de vrucht wordt deze sterk aangelegd (positief), maar gaat deze ook sneller ontwikkelen. De sink van de onderste vruchten komt later in de weg te zitten omdat in de toekomst minder zal worden belicht (het licht wordt eerder afgebouwd). Wanneer er bij de start van de teelt (ca. tot zetting tros 5) alleen met topbelichting wordt belicht, wordt deze onbalans mogelijk voorkomen en komt het tussenlicht er als "extra" licht bij op het moment dat de plantbelasting door het rijpen van de eerste trossen sowieso toeneemt. Op deze wijze wordt energie bespaard en blijft de plant iets langer in balans (de ontwikkeling gaat dan iets trager).

4.1 Conclusie

Conclusie beweegbaar tussenlicht

- Tussenlicht nabij de kop van het gewas zorgt voor de aanleg van sterke trossen.
- Vanaf bloei van de derde tros is het tussenlicht bij de kop zinvol.
- De extra energie van het tussenlicht armatuur (licht en warmte) zorgt lokaal voor snellere ontwikkeling en afrijping van vruchten nabij het tussenlicht. Hiermee kan gestuurd worden door tros 4 t/m 6 te helpen.

- Uitschakelen van het tussenlicht aan het einde van de teeltronde kost vruchtgewicht. Op dit moment is ook het gewas op de goot ernaast bijna volgroeid en vangt veel licht op. Het tussenlicht is dan dus nodig voor afrijping van de laatste vruchten.
- Er is geen onverklaarbaar verschil in productie tussen afdeling A en B waargenomen. Wel is het moment waarop de productie valt met tussenlicht te sturen. Afdeling B was eerder in productie en had ook eerder leeggeogst kunnen zijn.
- Met tussenlicht slijt het gewas veel minder hard. Het in stand houden van de fotosynthese dieper in het gewas zorgt hiervoor. Dit is naar het einde van de teelt niet wenselijk. Doel van de teelt is productie van tomaten, niet van groen blad.
- Met afnemend licht (najaar) en toenemend licht (voorjaar) is tussenlicht nuttig om het licht over het gewas te verdelen. De zon staat dan laag en schijnt vooral op de kop van het gewas. Bij het opbouwen en het afbouwen van de belichtingsuren kan tussenlicht goed worden ingezet om het minder diep doordringen van het buitenlicht te compenseren. In deze perioden heeft tussenlicht dus de voorkeur boven licht van bovenaf.

Samengevat: tussenlicht bij de kop van het gewas zorgt voor de constante aanleg van sterke trossen, constantere ontwikkeling van de eerste 6 trossen (balans), snellere uitgroei en afrijping en voor de mogelijkheid om de snelheid van een specifieke ontwikkelingsfase van de plant te sturen.

Realisatie energie doelstelling

In paragraaf 2.3 is een doelstelling van minimaal 23% besparing op elektrische energie in proefafdeling B en C ten opzichte van A gesteld. In afdeling C is 26% elektrische energie bespaard, maar de productie en de kwaliteit zijn niet voldoende. Met minder licht telen kost snelheid of productie of beide. Op het randje telen en vooraf sturen van een gewas op verwachte omstandigheden in de toekomst heeft in deze proef niet tot gewenst resultaat geleid.

In B is een beperktere energiebesparing gerealiseerd (8%) maar is veel geleerd over de mogelijkheden van beweegbaar tussenlicht. Met tussenlicht nabij de kop van het gewas kan een week tijdsinstelling per teeltronde gerealiseerd worden. Deze winst is in de proef niet benut omdat dit effect te laat gezien is en niet in de planning paste. De jonge plant was niet eerder beschikbaar, waardoor er iedere ronde een tros meer is aangehouden.

Eind conclusie belichtingsonderzoek:

Met een beweegbaar tussenlichtarmatuur zijn in de opgroei- en afrijpingsfase van een tomatenplant positieve effecten op kwaliteit, stuurbaarheid en snelheid te realiseren. In de randmaanden heeft het tussenlicht in principe de voorkeur boven belichting van bovenaf, behalve als het sneller ontwikkelen van de vruchten in de betreffende teelt tot onbalans kan leiden.

Aanbeveling:

Mogelijk kan de snelheidswinst door beweegbaar tussenlicht worden omgezet in energiebesparing of in meerproductie.

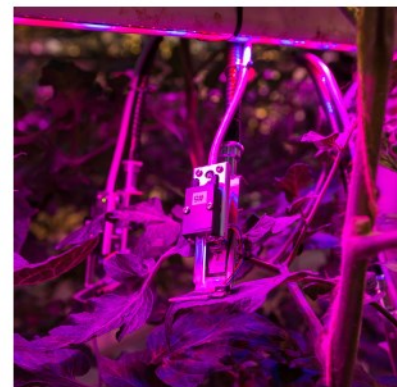
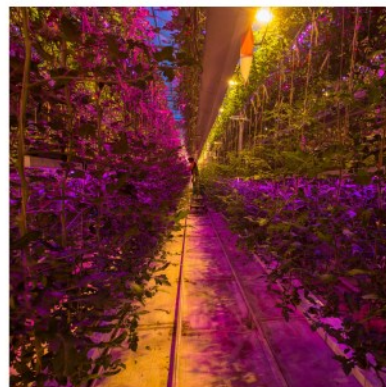
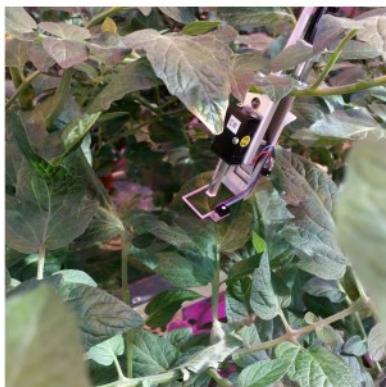
De toepassing van tussenlicht in de periode van overgang van kunstlicht naar volledig buitenlicht (medio maart en april) kan ook in traditionele belichte teelten uitkomst bieden.

Bijlage 1: Verslag fotosynthesemonitoring

Systeeminnovatie Futagrow voor een duurzame belichte groenteteelt

Resultaten fotosynthesemonitoring oktober -december 2014

Jan Snel en Joël van Stalduinen



Systeminnovatie Futagrow voor een duurzame belichte groenteteelt

Resultaten fotosynthesemonitoring oktober – december 2014

Jan Snel en Joël van Staalduinen¹

¹Inno-Agro B.V.



Ministerie van Economische Zaken



De bloemen- en planten-
sector investeert in dit
project via het

Productschap  Tuinbouw

Dit onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van het ministerie van EZ, het Productschap Tuinbouw en 'Kas als Energiebron'.

© 2015 Wageningen, Adviesbureau JFH Snel

Adviesbureau JFH Snel

Adres : Churchillweg 108, 6706 AE Wageningen

Tel. : 06 53779282

E-mail : advies@jfhsnel.nl

Abstract NL

In het lopende onderzoeksprogramma wordt het Futagrow systeem geoptimaliseerd qua energiebesparing. Meer inzicht in de lichtbenutting van het gewas is daarbij een belangrijke factor. Monitoren van de fotosynthese kan hier uitkomst bieden en de teler ondersteunen bij het maken van keuzes.

Gademann Instruments heeft, in overleg met Adviesbureau JFH Snel, een verbeterde Plantivity (HEX-PAM) ontwikkeld waarmee licht (PAR), fotosynthetisch elektrontransport (ETR) en bladtemperatuur op 6 posities in het gewas gemeten kunnen worden. In de lichtperiode wordt elk kwartier gemeten; in het donker één keer in het begin en één keer aan het eind. De potentiële ETR is de maximaal haalbare ETR van een blad bij een bepaalde PAR; deze wordt iedere dag in het begin van de lichtperiode bepaald.

In de periode van 27 oktober tot 23 december is een HEX-PAM ingezet om de lichtbenutting te monitoren in behandeling B (rij 16) op de Demokwekerij. Er is op verschillende posities in het gewas gemeten. Boven in het gewas, maar ook onderin en vlak onder het LED tussenlicht. Er is geen aanwijzing gevonden voor fotoinhibitie (schade aan fotosyntheseapparaat). Het verband tussen ETR en PAR bleek lineair bij alle gemeten bladeren. De ETR reageerde nagenoeg instantaan op veranderingen in licht (incl. aangaan groeilicht). Vergelijking van de gemeten ETR met de potentiële ETR laat zien dat de ETR heel dicht bij de potentiële ETR ligt. De resultaten van de monitoring laten zien dat er in de periode oktober – december een lineaire relatie bestaat tussen ETR en PAR. Reductie van belichtingsuren leidt in de winter dus tot een evenredige daling in ETR.

Abstract UK

In the current development program the Futagrow system is optimized in terms of investment, yield and energy savings. More insight into the light utilization of the crop is an important factor. Monitoring of photosynthesis can help the grower in optimizing growth conditions.

Gademann Instruments, in consultation with Adviesbureau JFH Snel, has developed an improved version of the Plantivity (HEX PAM) to measure light (PAR), photosynthetic electron transport (ETR) and leaf temperature at 6 positions in the crop. In the light period measurements are done each quarter; in the dark, once at the beginning and once at the end. The potential ETR is the maximum achievable ETR of a leaf at a given PAR and is determined at the beginning of the light period.

In the period from October 27 to December 23 a HEX-PAM was used to monitor the light utilization at various positions in the crop in treatment B (row 16) on the Demokwekerij. It was measured at the top of the crop, but also at the bottom and just below the LED interlight. There is no evidence for photoinhibition (damage to photosynthesis). The relationship between ETR and PAR proved linear at all measured leaves. The ETR responded almost instantaneously to changes in light. The ETR was very close to the potential ETR. The monitoring results showed a linear relationship between ETR and PAR in the period from October to December. This means that a reduction of lighting hours in winter leads to a proportional decrease in ETR.

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	5
1 Inleiding	6
2 Resultaten en discussie	7
Oud gewas	7
Jong gewas	8
3 Conclusies en aanbevelingen	12
Conclusies	12
Aanbevelingen	12
4 Geraadpleegde literatuur	14
5 Materialen en meetmethode	15
Meetprincipe	15
Meetpaal	16
Data-acquisitie, opslag en verwerking	16
Bepaling potentiële ETR	17
Bepaling dagsommen	18
Meetprotocol	18

Samenvatting

Het Futagrow concept wordt op veel punten nog verder verfijnd. Investering, meeropbrengst en energiebesparing zullen in balans moeten zijn. Betere benutting van licht, verbetering van het microklimaat op basis van metingen aan het gewas, een gezond gewas door het juiste substraat en de juiste watergift zijn daarbij belangrijke bouwstenen. Door teeltkundige optimalisatie kan de bereikte energiebesparing bedrijfszeker worden toegepast.

Met de HEX-PAM kan gelijktijdig op verschillende plekken in het gewas PAR, RV, bladtemperatuur en ETR gemeten worden. De resultaten zijn op het internet te volgen. Actuele informatie over de ETR kan helpen om de groei van het gewas beter te kunnen verklaren. Naast de in het GrowSense 2 project ontwikkelde parameters als ETR, Lichtbelasting en Lichtschade (Dankers et al., 2011) wordt de lichtsom en de ETR-som berekend worden voor iedere sensor. Tenslotte kan met de HEX-PAM de potentiële ETR, de maximaal haalbare ETR bij een bepaalde PAR, bepaald worden.

In dit rapport worden de resultaten van de metingen in de periode 27 oktober – 23 december 2014 in het Futagrow systeem voor tomaat op de Demokwekerij beschreven. Voor de beschrijving en de resultaten van de teeltproef wordt verwezen naar het rapport *Systeeminnovatie Futagrow voor een duurzame belichte groenteteelt* (Staalduinen et al., in bewerking).

Uit de monitoring data kunnen de volgende conclusies getrokken worden

- De ETR reageert nagenoeg instantaan op veranderingen in licht (incl. aangaan groeilicht)
- Het verband tussen ETR en PAR was lineair bij de lage PAR waarden in proefperiode.
- De potentiële ETR bevestigt de lineaire relatie tussen ETR en PAR bij lage PAR (beneden $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).
- Er is geen sprake geweest van fotoinhibitie (lichtschade aan fotosyntheseapparaat).
- Er is een gradiënt in potentiële ETR van oud naar jong blad. Het verschil is vooral belangrijk bij hoge PAR waarden.

Met deze bevindingen kunnen de gestelde vragen beantwoord worden:

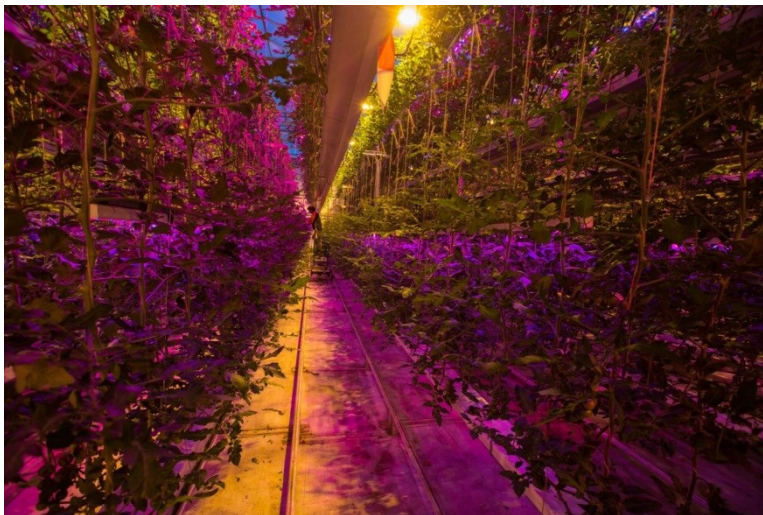
- **Vraag:** Kan het groeilicht 's nacht direct vol aan of moet het in stappen aangaan?
Antwoord: De ETR reageert nagenoeg instantaan op veranderingen in licht. Dat betekent dat de LED's en de SON-T lampen direct vol aangezet kunnen worden.
- **Vraag:** Op welke momenten is groeilicht effectief?
Antwoord: Het groeilicht wordt even effectief gebruikt in de hele belichtingsperiode.
- **Vraag:** Wanneer zou het groeilicht het best uitgezet kunnen worden zonder teveel fotosynthese in te leveren?
Antwoord: Dat maakt niet uit. Er is een lineaire relatie tussen PAR en ETR. Verlaging van PAR door uitzetten groeilicht resulteert in een evenredige verlaging van ETR.
- **Vraag:** Maakt het nog uit waar ik in het gewas belicht?
Antwoord: Aan het eind van de teelt is er mogelijk een kleine gradiënt in potentiële ETR bij hoge PAR, maar bij de PAR waarden in de proefperiode is de relatie tussen ETR en PAR lineair. Voor de ETR maakt het dus niet uit welk deel van het gewas belicht wordt.

1 Inleiding

Fotosynthese vormt de basis voor de groei van planten. Een tuinder kan de snelheid van de fotosynthese beïnvloeden via de omgevingsfactoren licht, CO₂, temperatuur en luchtvochtigheid. Naast deze externe factoren spelen ook interne factoren, zoals de fysiologische leeftijd van het blad, een rol. Optimalisatie van de fotosynthese is niet eenvoudig zonder nauwkeurige informatie over het gedrag van de fotosynthese bij al deze variërende factoren.

Het monitoren van de fotosynthese met een fotosynthesemeter is lastig in een kas, maar de fotosynthese kan wel geschat worden op basis van de ETR, het z.g. fotosynthetisch elektronentransport. In de bladgroenkorrels wordt met licht een elektrische stroom opgewekt die leidt tot de binding van CO₂ en de omzetting tot suiker. Deze elektrische stroom (afgekort tot ETR) kan goed gemeten worden. De eerste op dit principe gebaseerde meter in de tuinbouw was de Plantivity. Met nieuwe meters is het mogelijk om de PAR en de ETR op meerdere posities in het gewas te monitoren. Met behulp van calibratiemetingen met een Licor fotosynthesemeter kan de ETR omgerekend worden naar bladfotosynthese.

Met de informatie uit deze monitoringssystemen kunnen telers in de toekomst beter sturen op fotosynthese. Dat is vooral belangrijk in periodes met grote schommelingen in source (licht) en/of sink. Maar ook voor de ontwikkeling van nieuwe teeltsystemen om lichtbenutting te optimaliseren.



Futagrow teeltsysteem in november 2014 met hybride SON-T en LED belichting, gecombineerd met LED tussenbelichting.

Dit rapport behandelt alleen de uitgevoerde fotosynthesemonitoring. Voor het verslag van de teeltproef wordt verwezen naar het nog te verschijnen eindrapport.

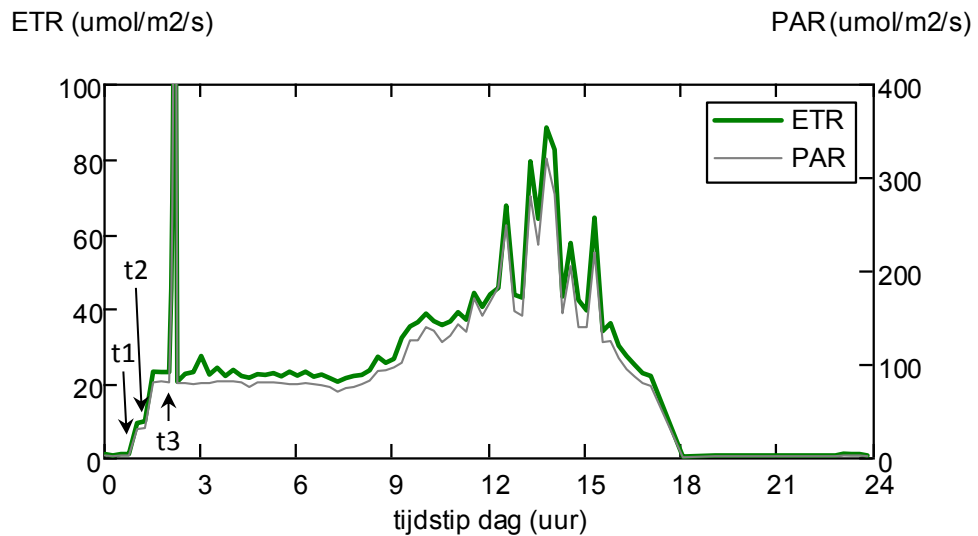
De monitoring moet uiteindelijk antwoorden leveren op de volgende vragen:

- Op welke momenten is het groeilicht effectief
- In welke uren zou het kunstlicht uit kunnen?
- Kan de teelt (plantbalans) geoptimaliseerd worden door te sturen met
 - belichtingsduur van groeipunt en duur tussenlicht?
 - hoogte van de goten ten opzichte van elkaar?

2 Resultaten en discussie

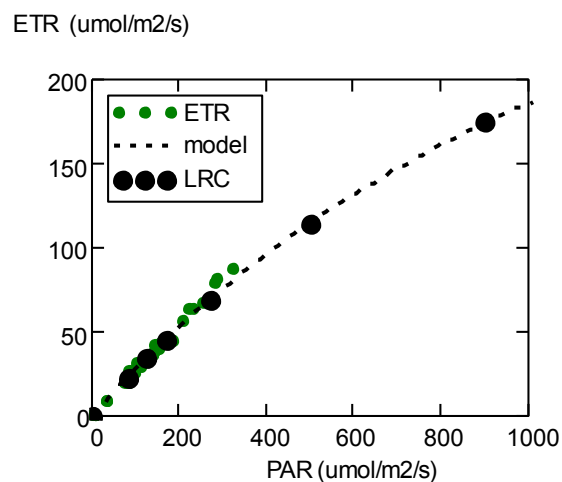
Oud gewas

Om het systeem en de procedures te testen werd de HEX-PAM eerst op het oude gewas geïnstalleerd. De sensoren werden over de hoogte van het gewas met sensor 1 boven in het gewas en sensor 6 onderin. Figuur 2.1 geeft het dag verloop van PAR en ETR van sensor 1 boven in het gewas.

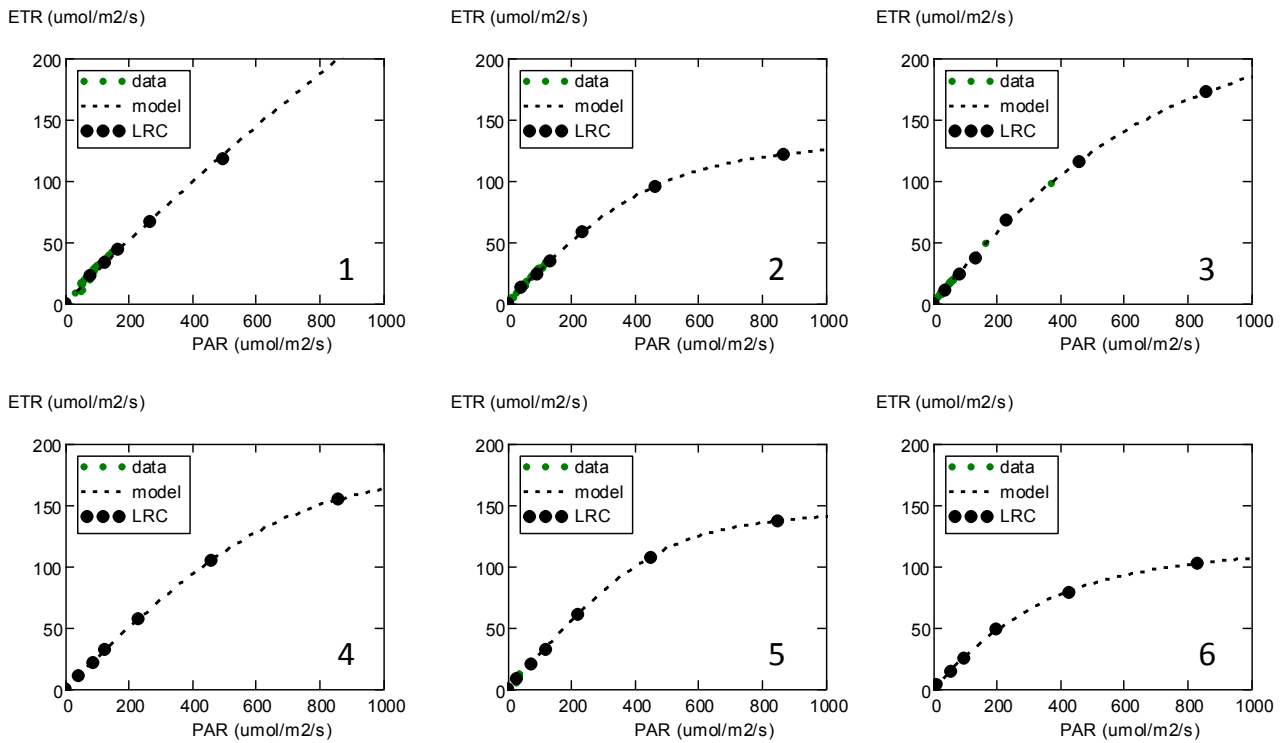


Figuur 2.1. Verloop van ETR en PAR van sensor 1 op 8 november 2014. Sensor 1 bevond zich boven in het gewas. Op tijdstip t1 (0:45) werd de SON-T 50% aangezet; op t2 ging de SON-T vol aan. Op tijdstip t3 (02:00) werd de potentiële ETR meting gestart.

Bij de start van de belichting om 0:45 is goed te zien dat de ETR direct reageert op het groeilicht. Om 2:00 werd de meting van de potentiële ETR gestart. Omdat de potentiële ETR ook bij hoge PAR gemeten wordt, valt een deel van die meting buiten de schaal. Verder is goed te zien dat de ETR de PAR goed volgt. Dat geldt niet alleen voor sensor 1, maar ook voor de andere sensoren (niet getoond).



Figuur 2.2. Lichtresponscurve (LRC), potentiële ETR (model) en ETR monitoring data van die dag (data) gemeten met sensor 1 op 8 november 2014.



Figuur 2.3. Lichtresponscurve (LRC), potentiële ETR (model) en ETR monitoring data van die dag (ETR) gemeten met sensoren 1 t/m 6 op 11 november 2014. De sensoren waren verticaal over het gewas verdeeld met sensor 1 boven in het gewas en sensor 6 onder.

De gevonden relatie tussen ETR en PAR is praktisch lineair (figuur 2.2, ETR) bij PAR waarden lager dan $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. De data van de lichtresponscurve en de curve van de potentiële ETR buigen af boven de $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ maar aangezien de PAR in het gewas zelden die waarde bereikte in de onderzoeksperiode, is dit voor deze proef niet van belang.

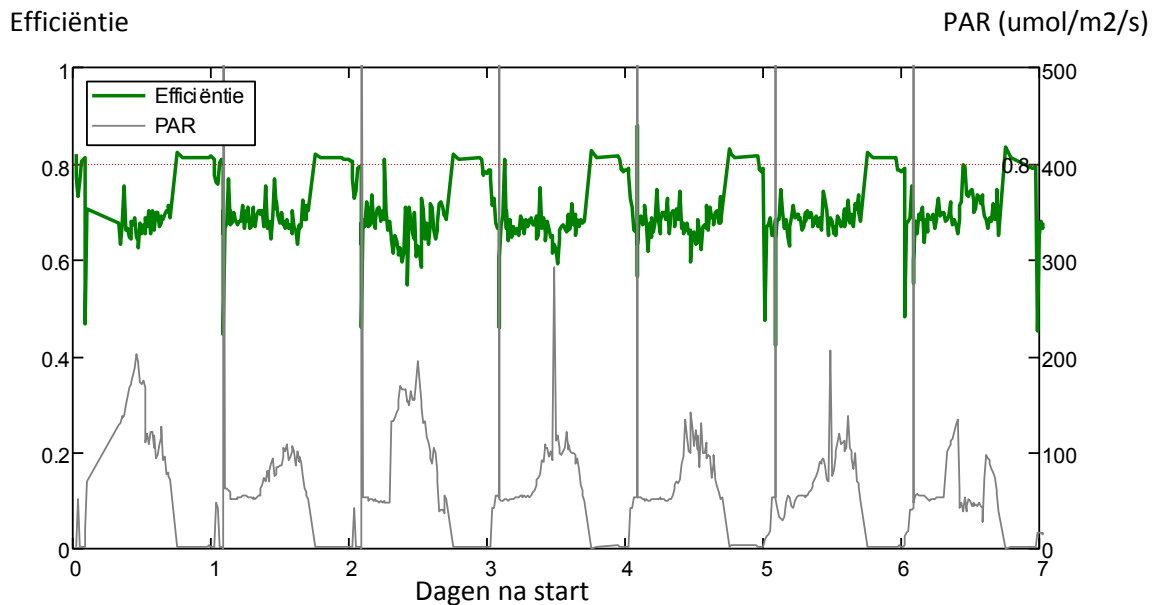
Uit figuur 2.3 blijkt dat de potentiële ETR niet overal in het gewas gelijk was. Hoewel er natuurlijk verschillen zijn tussen individuele bladeren, is er een trend dat in de oudere bladeren onder in het gewas de ETR bij hoge PAR lager is. Ook hier geldt dat deze verschillen voor de teelt niet van belang zijn omdat dergelijk hoge PAR waarden in deze tijd van het jaar niet voorkomen.

Figuur 2.4 toont het verloop van de efficiëntie van de fotosynthese van het blad in sensor 1 in de eerste week na de start van de monitoring. Van de gemeten bladeren is dit blad aan de hoogste PAR blootgesteld. Uit de hoge efficiëntie 's nachts voor het aangaan van de belichting ($=F_v/F_m$) blijkt dat er geen permanente schade aan het fotosyntheseapparaat is opgetreden. Dat is in deze periode van het jaar ook niet te verwachten.

Jong gewas

In het jonge gewas is de belichting aangepast. De belichting werd gestart om 23:00 met LED belichting, om 23:30 gevolgd door de SON-T belichting. Figuur 2.5A geeft het dag verloop van de ETR en de PAR op 22 november. Door de heldere dag kwam de PAR boven in het gewas toch nog af en toe boven de $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Toch laten figuur 2.5C en 2.5D zien dat de ETR de potentiële ETR goed volgde. Dat geeft aan dat de ETR snel genoeg reageerde om de dagelijkse fluctuaties in PAR goed te kunnen volgen.

Figuur 2.5B laat zien dat de temperatuur van het blad sensor 1 overdag opliep tot bijna 30°C . Dat is toch gauw 10°C hoger dan de temperatuur tijdens de LRC meting (20°C). Omdat de fotosynthese

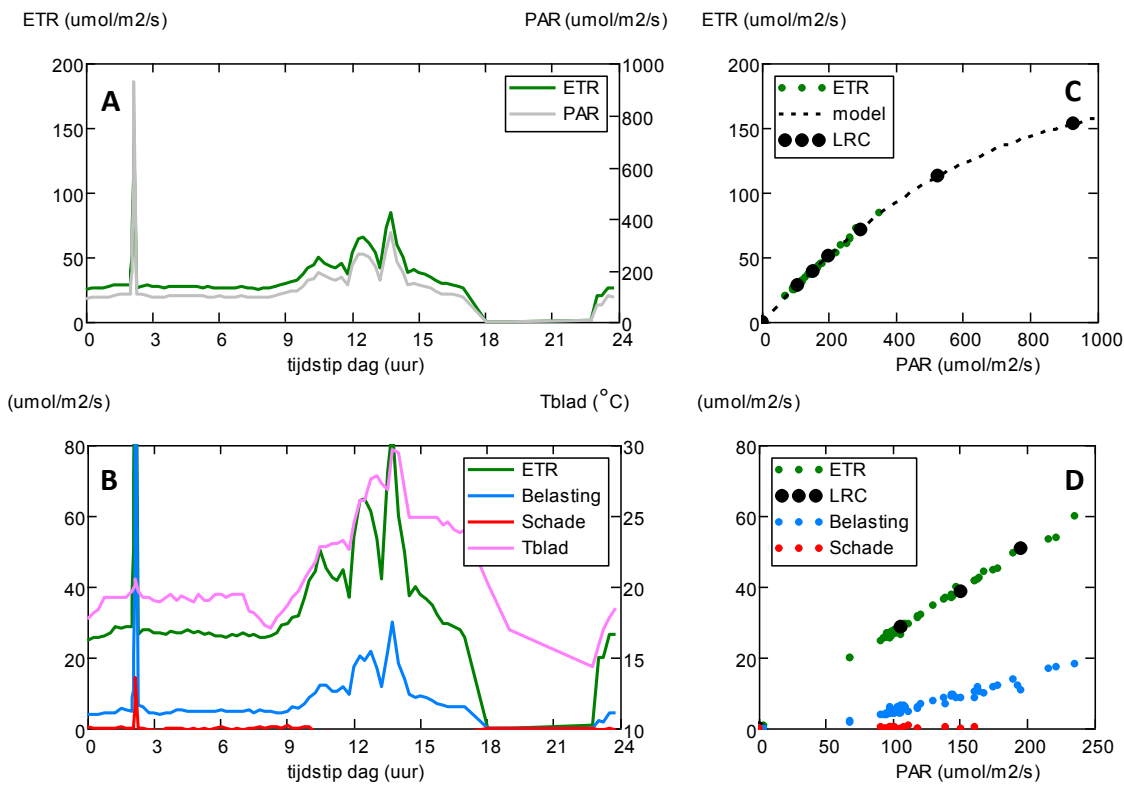


Figuur 2.4. Verloop fotosynthese-efficiëntie en PAR van sensor 1 in de eerste 7 dagen van de monitoring (startdatum 7 november 2014). Sensor 1 bevond zich boven in het (oude) gewas. De rode streepjeslijn geeft de minimumwaarde voor de maximale efficiëntie 's nachts (Fv/Fm) van een niet-beschadigd gewas.

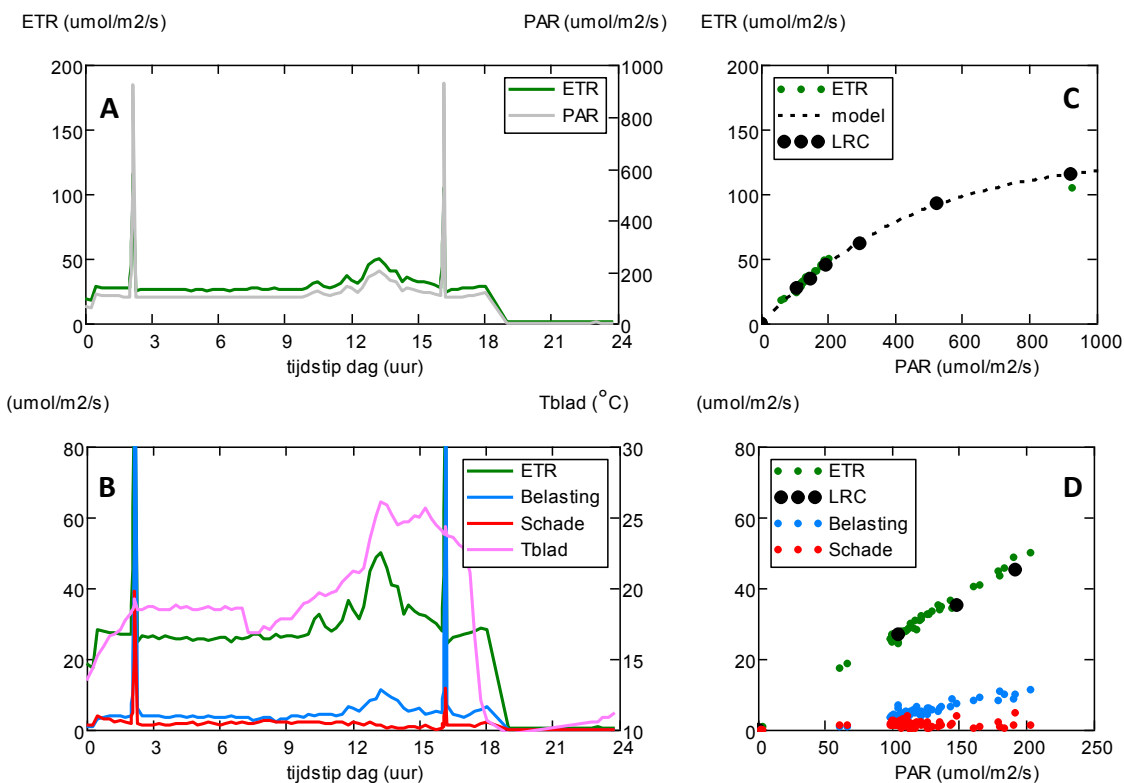
bij hoog licht afhankelijk is van de temperatuur, zou verwacht mogen worden dat ook de potentiële ETR bij hogere temperaturen hoger is. Bovendien kan aan het eind van de lichtperiode ophoping van zetmeel en suikers ontstaan waardoor de fotosynthese geremd wordt. Daarom is om 16:00 een tweede LRC meting toegevoegd aan het meetprotocol. Het resultaat van zo'n meting staat in figuur 2.6. De lijn in figuur 2.6C die de potentiële ETR weergeeft is gefit aan de LRC meting 's nachts. De meetpunten van de tweede LRC meting liggen op dezelfde positie als de eerste LRC meting (zijn daardoor niet zichtbaar). Alleen de meting bij de hoogste PAR waarde ligt iets lager dan de meting 's morgens. Hieruit mogen we afleiden dat de invloed van 5°C temperatuurverhoging en van eventuele negatieve effecten van ophoping van suikers te verwaarlozen zijn in deze periode van het jaar.

In figuren 2.5B,C en 2.6B,C zijn ook de lichtbelasting en de lichtschade weergegeven. De term lichtbelasting geeft aan hoeveel licht op een veilige manier in warmte omgezet wordt. De term lichtschade geeft aan hoeveel licht op een minder veilige manier verwerkt wordt. Voor een verdere beschrijving van de termen wordt verwezen naar Dankers et al.(2011). Als de term lichtschade groot is, is er meer risico op beschadiging van het fotosynthese-apparaat. In de metingen aan het jonge gewas was de lichtschade laag werd geen indicatie voor permanente schade aan het fotosynthese-apparaat gevonden (verlaging Fv/Fm, data niet getoond). Eerder is een vergelijkbare conclusie getrokken (Snel et al., 2014).

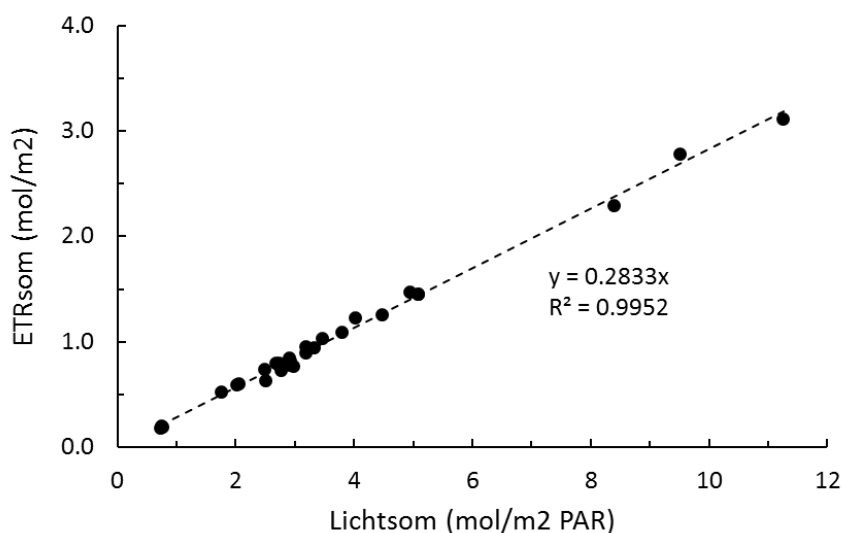
Uit het dag verloop van de PAR en de ETR zoals die gemeten zijn met de 6 sensoren, werden ook de lichtsom en de ETRsom voor de bladeren in de 6 sensoren berekend. Figuur 2.7 geeft de relatie tussen de ETRsom en de lichtsom van alle 6 sensoren in de periode van 13 t/m 17 november, dus aan het begin van de nieuwe teelt (jong gewas). Er is duidelijk een lineair verband tussen de ETRsom en de lichtsom. Er zijn geen punten aan te wijzen die er duidelijk uitspringen. Dat betekent dat een lagere lichtsom een evenredige verlaging van de ETRsom tot gevolg heeft. Voor energiebesparing door minder belichting betekent dus automatisch minder ETR en minder productie. De helling van de lijn is de efficiëntie van de lichtbenutting. Die bedroeg 0.2833.



Figuur 2.5. A: Dag verloop van ETR en PAR. B: ETR als functie van PAR voor de monitoring data en voor de LRC data. C: Dag verloop ETR, (licht)belastingen, (licht)schade en bladtemperatuur. D: ETR, (licht)belasting en (licht)schade als functie van PAR. Data van sensor 1 (boven in gewas) op 22 november 2014.



Figuur 2.6. A: Dag verloop van ETR en PAR. B: ETR als functie van PAR voor de monitoring data en voor de LRC data. De bepaling van de potentiële ETR is gebaseerd op de eerste RLC om 02:00. C: dag verloop ETR, (licht)belastingen, (licht)schade en bladtemperatuur. D: ETR, (licht)belasting en (licht)schade als functie van PAR. Om 16:00 werd nogmaals een lichtresponscurve gemeten; deze meetpunten zijn weergegeven als 'ETR'. Data van sensor 1 (boven in gewas) op 19 december 2014.



Figuur 2.7. Verband tussen ETRsom en lichtsom in de periode 13 t/m 17 november 2014. De data zijn afkomstig van allen 6 sensoren. Er waren 3 sensoren boven in het gewas en 3 sensoren onder de LED tussenverlichting.

Het lineaire verband is in die zin opmerkelijk omdat het licht bestaat uit een combinatie van daglicht en licht van SON-T en LED lampen. Blijkbaar is er niet veel verschil in lichtbenutting van de verschillende lichtsoorten.

Tenslotte zijn de eigenschappen van de bladeren in de sensoren 1-3 (boven in gewas) en 4-6 (onder LED tussenlicht) met elkaar vergeleken.

Tabel 1 laat zien dat de maximale lichtbenutting en de potentiële ETR bij $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ niet verschillen op de twee posities in het gewas. Bij de potentiële ETR bij $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ is er een significant verschil van 14%. Bij de ETRsom en de lichtsom is er een factor 2 verschil tussen de twee gewaslagen.

Tabel 1. Vergelijking van de maximale lichtbenuttingsefficiëntie (LBE(max)), potentiële ETR bij 200 en bij $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en de Lichtsom en de ETRsom in de periode 13 t/m 17 november 2014. Sensoren 1-3 hingen boven in het gewas en sensoren 4-6 onder de LED balk van de tussenbelichting.

	LBE(max)	ETR(200)	ETR(1000)	Lichtsom	ETRsom
sensoren 1-3	0.296	54.9	189.1	4.80	1.37
sensoren 4-6	0.291	53.6	163.3	2.39	0.68
Vershil	0.004*	1.4*	25.8**	2.41***	0.69***

*: niet significant; **: significant P:0.055; ***: significant P: <0.01

De nagenoeg gelijke maximale lichtbenuttingsefficiëntie (LBE(max)) en potentiële ETR bij $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ bevestigen nogmaals dat bij PAR waarden beneden $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de bladeren op deze twee posities in het gewas even efficiënt het licht in elektronentransport omzetten, hoewel ze wel een duidelijk verschillende hoeveelheid licht hebben ontvangen.

De ETRsom geeft aan hoeveel licht nuttig omgezet is in het blad. De efficiëntie van de lichtbenutting (0.2833, fig. 2.7) lag dicht bij de maximale efficiëntie (0.291-0.296, tabel 1). De ETR wordt voor het grootste deel gebruikt voor het maken van suikers uit CO_2 . Op basis van deze resultaten mag dan ook verwacht worden dat de dagelijkse hoeveelheid fotosynthese van het gewas evenredig is met de lichtsom. Of die fotosynthese leidt tot productie zal uit de teeltregistraties moeten blijken.

3 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- De ETR reageert nagenoeg instantaan op veranderingen in licht (figuur 2.1)
- Figuur 2.2 laat een lineair verband zien tussen ETR en PAR data.
- De in figuur 2.2 getoonde potentiële ETR bevestigt deze lineaire relatie tussen ETR en PAR zolang de PAR beneden de $350 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ blijft.
- Uit figuur 2.4 blijkt dat de efficiëntie van de fotosynthese 's nachts ($=F_v/F_m$) hoog was bij een blad boven in het gewas. Er is dus geen sprake van fotoinhibitie (schade aan het fotosyntheseapparaat) door teveel licht.
- Er is een gradiënt in potentiële ETR van jong naar oud blad. Dat resulteert bij ouder blad in lagere ETR bij hoge PAR waarden.
- Er is in de proefperiode een lineair verband tussen ETRsom en lichtsom (Figuur 2.7).

Met deze bevindingen kunnen de gestelde vragen beantwoord worden:

- **Vraag:** Op welke momenten is groeilicht effectief?
Antwoord: In de hele belichtingsperiode.
- **Vraag:** Wanneer zou het groeilicht het best uitgezet kunnen worden zonder teveel fotosynthese in te leveren?
Antwoord: Maakt niet uit. Er is een lineaire relatie tussen PAR(som) en ETR(som). Verlaging van PAR resulteert in een evenredige verlaging van ETR.
- **Vraag:** Kan het groeilicht 's nacht direct vol aan of moet het in stappen aangaan?
Antwoord: De ETR reageert binnen een kwartier op veranderingen in licht, ook 's nachts bij het aangaan van de belichting. Dat betekent dat voor de ETR de LED's en de SON-T lampen direct vol aangezet kunnen worden. Of deze ETR resulteert in CO_2 opname, is afhankelijk van de opening van de huidmondjes en die is niet gemeten.
- **Vraag:** Maakt het nog uit waar ik in het gewas belicht?
Antwoord: Aan het eind van de teelt is er weliswaar een kleine gradiënt in potentiële ETR bij hoge PAR, maar bij de lage PAR van omgevings- en groeilicht blijft de relatie tussen ETR en PAR lineair. Voor de totale ETR maakt het dus niet uit welk deel van het gewas belicht wordt.

Aanbevelingen

- **Stop monitoren fotosynthese in de komende 2 maanden.**
De resultaten laten zien dat in de wintermaanden de ETR snel reageert op veranderingen in PAR en dat de ETR lineair afhangt van de PAR. Monitoren heeft dan geen toegevoegde waarde.
- **Hervat monitoren begin maart voor besparing op elektriciteit.**
In maart/april is er een veel afwisselender lichtklimaat met periodes van hoge en lage lichtsommen. Dan is het waarschijnlijk wel mogelijk om op basis van fotosynthese monitoring wel aan te geven op welk moment op groeilicht bespaard kan worden.
- **Meet aan twee goten aan bladeren boven in gewas.**

Om het effect van de sturing van de plantbalans met de hoogte van de goten te kunnen monitoren moet op twee goten tegelijkertijd gemeten worden. Dat betekent 3 sensoren op elke goot. Technisch gezien is dat mogelijk.

4 Geraadpleegde literatuur

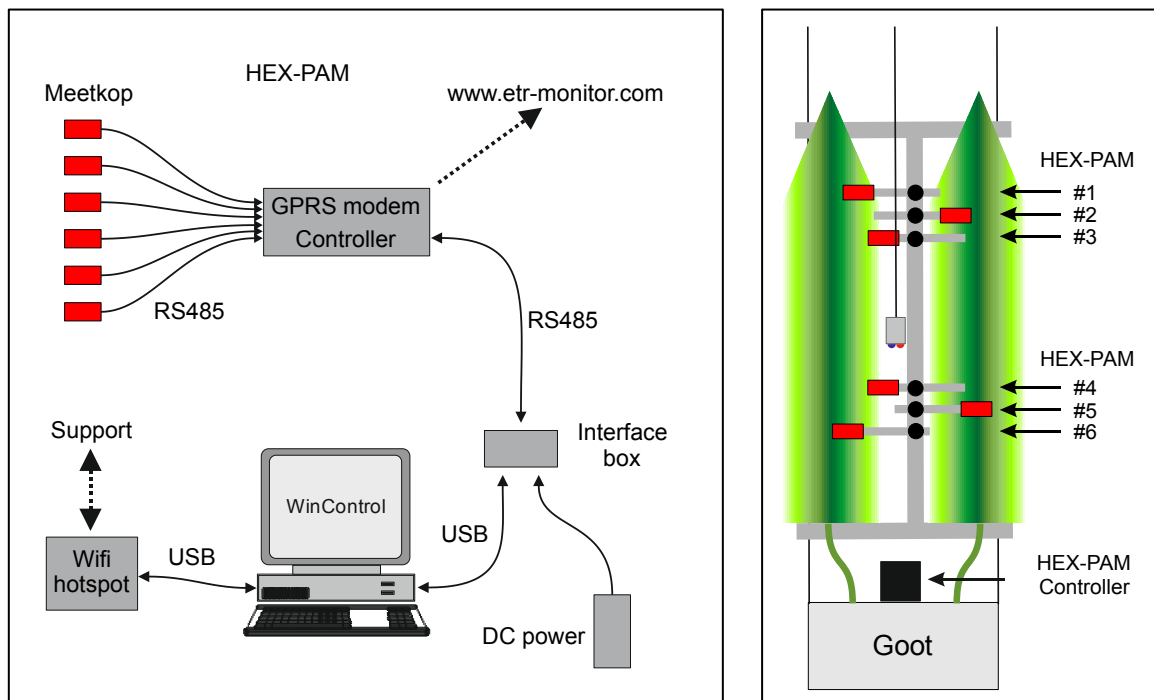
- Anonymous. 2007. Junior-PAM CHLOROPHYLL FLUOROMETER Operator's Guide, 58pp. Heinz Walz GmbH, Effeltrich (Germany). www.walz.com/downloads/manuals/junior-pam/jpm_071206.pdf.
- Dankers P, Rooij E de, Verberkt H, Blaakmeer A, Roovers-Huijben T, Pot S, Trouwborst G. 2011. GrowSense 2. Energiebesparing door optimalisering van de teeltfactoren temperatuur, CO₂, licht en VPD op basis van plantreacties. Rapport PT 13236.
- De Gelder A., Warmenhoven M, Klapwijk P en van Baar PH. 2014. Optimalisatie van Het Nieuwe Telen. Wageningen, Rapport nr. GTB-1300.
- Genty B, Briantais J-M, Baker NR. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta* 990, 87- 92.
- Pot CS, Trouwborst G, Schapendonk AHCM. 2011. Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 28p.
- Snel JFH., Warmenhoven M, de Gelder A. 2014. Optimalisatie van Het Nieuwe Telen. Werkpakket Fotosynthesemonitoring. Wageningen, Rapport nr. GTB-1299.

5 Materialen en meetmethode

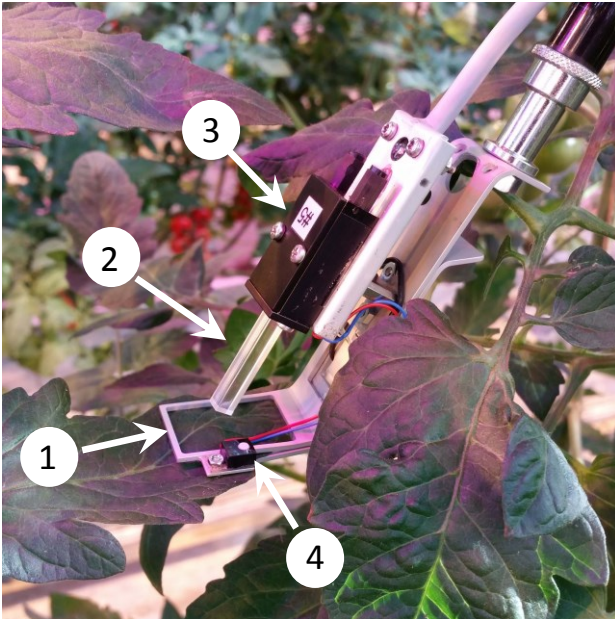
Meetprincipe

De schatting van de ETR is gebaseerd op chlorofylfluorescentie (Genty et al., 1989). Voor een uitgebreide beschrijving van deze schatting wordt verwezen naar het rapport *Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk* (Pot et al. 2011).

Voor het meten van PAR en ETR in een groentegewas is de bestaande Plantivity minder geschikt. De Plantivity is groot, duur en niet praktisch voor het meten van gewasfotosynthese met meerdere sensoren in een hogedraadteelt. Op initiatief van Adviesbureau JFH Snel en Plant Dynamics is Gademann Instruments (Duitsland) begonnen aan een doorontwikkeling van de Plantivity: de HEX-PAM. De HEX-PAM bestaat uit een basisstation met 6 meetkoppen (Fig.5.1). Elke meetkop meet naast chlorofylfluorescentie ook nog bladtemperatuur, PAR en luchtvochtigheid (Fig.5.2). De meetkoppen staan via een 5m lange RS485 kabel in verbinding met het basisstation. Het basisstation stuurt de data rechtstreeks via een GSM verbinding naar een server in Duitsland waar de data online te zien zijn: www.etr-monitor.com.



Figuur 5.1. Schematische weergave van de HEX-PAM configuratie (links) en de meetopstelling in de mobiele gewasrij met LED tussenbelichting (rechts). De meetkoppen zijn via RS485 kabel (5m lengte) verbonden met de basiseenheid. De basiseenheid wordt door een 15m lange RS485 kabel van stroom voorzien en heeft via deze kabel verbinding met een PC. De PC is via wifi op afstand bestuurbaar en wordt gebruikt om de HEX-PAM op afstand te kunnen bedienen. De meetkoppen van de HEX-PAM zijn via flexibele zwanenhalzen en klemmen aan de stellage bevestigd. De door de Demokwerkerij gebouwde stellage bestaat uit een H-vormige constructie van PVC pijp (\varnothing 50mm) die via sleuven in de korte uiteinden vastgeklemd is aan de ophangdraden van de goot. In de figuur zijn 3 meetkoppen boven in het gewas geplaatst en 3 meetkoppen net onder de LED tussenbelichting. Het basisstation (controller) van de HEX_PAM ligt op het deksel van de goot.



Figuur 5.2. Eén van de meetkoppen van de HEX-PAM op een blad van een 'oud' gewas in het Futagrow teeltsysteem voor tomaat.

De meetkop bestaat uit:

1. bladklem met vaste bovenkant en beweegbare onderzijde.
2. Lichtgeleider voor meten van chlorofylfluorescentie.
3. Electronica voor chlorofylsensor.
4. Externe PAR sensor.
5. Thermokoppel (niet zichtbaar) voor meten temperatuur onderzijde blad.
6. Sensor (niet zichtbaar) aan de onderzijde van de chlorofylsensor voor het meten van RV.

Meetpaal

In de afdeling werd één PVC meetpaal iets uit het midden van de goot geplaatst en aan de ophangdraad van de goot geklemd. De HEX-PAM sensoren werden met 50cm lange, flexibele zwanenhalzen en statiefklemmen op de aangegeven hoogtes bevestigd aan de meetpaal (Fig.5.3). De HEX-PAM meetkoppen werden in principe 1x per week op een ander blad gezet. Dat gebeurde als de goot in de lage positie was. De HEX-PAM controller unit werd met tie-wraps op de goot bevestigd.



Figuur 5.3. De meetpaal met de HEX-PAM sensoren (2 zichtbaar) gemonteerd aan flexibele zwanenhalzen die met klemmen aan de PVC buis bevestigd zijn. Zichtbaar zijn de sensoren 1 en 2 die boven in het oude gewas gemonteerd zijn.

Data-acquisitie, opslag en verwerking

De HEX-PAM sensoren werden aangestuurd vanuit de HEX-PAM controller unit. De meting wordt gestart door het meegeleverde programma Wincontrol (Walz) op de mini-PC te starten. Wincontrol wordt in de 'Batch-mode' gezet en door een batch-bestand geladen. Dit batch bestand bevat de instellingen en het meetprotocol. Vanuit Wincontrol wordt het batchprogramma naar de HEX-PAM

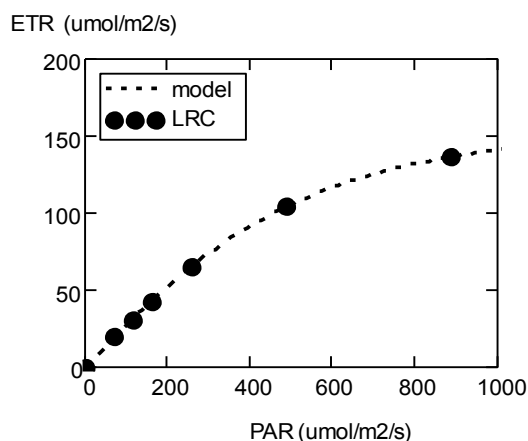
geladen en opgestart. Daarna draait de HEX-PAM zelfstandig en stuurt de meet data draadloos naar www.etr-monitor.com. Voor meet informatie over het programma Wincontrol wordt verwezen naar de *Junior-PAM CHLOROPHYLL FLUOROMETER Operator's Guide* (Anonymus, 2007).

De data kunnen online bekeken en gedownload worden voor verdere analyse in Microsoft Excel en/of PTC MathCad (zie onder) of andere rekenprogramma's. De meetfrequentie van de HEX-PAM's was 1x per kwartier in het licht. In het donker werd alleen 1x aan het begin en 1x aan het eind gemeten. De laatste meting in het donker werd 15 min voor de start van de belichting (23:00) uitgevoerd en gold als de maximale efficiëntie van de fotosynthese (F_v/F_m). In het meetprotocol is het donker als de PAR van sensor 1 kleiner is dan $3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Bepaling potentiële ETR

De fotosynthese wordt bepaald door een aantal interne en externe factoren. De belangrijkste externe factoren zijn licht, CO_2 , temperatuur en luchtvochtigheid. Belangrijke interne factoren zijn de huidmondjesgeleidbaarheid, voldoende interne substraten en negatieve productfeedback door suikers en ophoping van zetmeel.

De potentiële ETR is gedefinieerd als de ETR bij een bepaalde PAR onder optimale condities voor de fotosynthese. Potentiële ETR wordt gemeten door onder optimale condities de lichtintensiteit te variëren en de bijbehorende ETR te meten. De beste tijd om deze meting uit te voeren is aan het begin van de lichtperiode. Het blad heeft vaak enige tijd nodig om zich aan het licht aan te passen; daarom wordt een periode van minimaal 1 uur aangehouden om te voorkomen dat er interne beperkingen in het blad zijn. Bij het begin van de lichtperiode is er meestal voldoende CO_2 en is de luchtvochtigheid hoog. Om te voorkomen dat de RV of de CO_2 zakken door het openen van de ramen, is het verstandig om de meting van de potentiële ETR uit te voeren voordat de ramen open gaan. Meestal is 1-3 uur na het begin van de belichting een geschikte periode.



Figuur 5.4. Lichtresponscurve, gemeten aan tomaat met de HEX-PAM. De gesloten cirkels zijn de gemeten ETR waarden bij de met de interne LED aangelegde PAR.

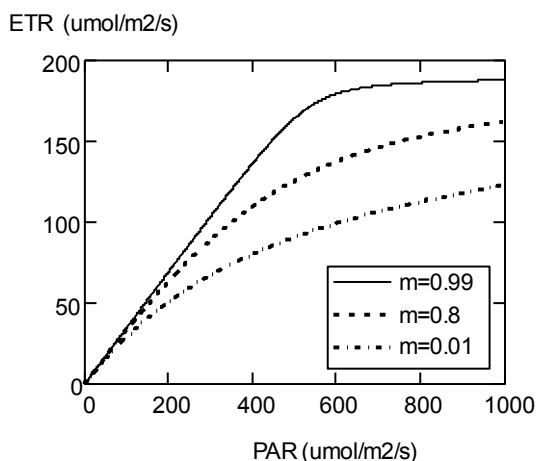
De streepjeslijn is de curve die het fotosynthesemodel weergeeft met de parameters die via een fitprocedure verkregen zijn.

De meting wordt uitgevoerd door eerst de ETR te meten bij het aanwezige licht. Daarna wordt het stukje blad in de meetspot gedurende 2 min. belicht met witte LED van de HEX-PAM. Aan het eind van de 2 min. wordt de ETR gemeten bij die lichtintensiteit. Daarna wordt de lichtintensiteit van de LED verhoogd en na twee min. wordt opnieuw de ETR gemeten. Zo wordt uiteindelijk de ETR bij 6 lichtstappen (bovenop aanwezige lichtniveau) gemeten: 0, 44, 88, 188, 418, 819 $3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Voor het bepalen van de potentiële ETR wordt door de gemeten (ETR, PAR) punten een model van de fotosynthese gefit (Fig. 5.4). Het gebruikte model is een niet-lineaire hyperbool met 3 parameters:

$$\text{ETR}(\text{PAR}, \text{ETR}_{\text{max}}, \text{Q2}, m) := \frac{(\text{Q2} \cdot \text{PAR} + \text{ETR}_{\text{max}}) - \sqrt{(\text{Q2} \cdot \text{PAR} + \text{ETR}_{\text{max}})^2 - 4 \cdot \text{Q2} \cdot \text{PAR} \cdot \text{ETR}_{\text{max}} \cdot m}}{2 \cdot m} \quad [1]$$

Met: ETR_{max} = maximale elektronentransportsnelheid (μmol.m⁻².s⁻¹);
 Q2 = maximale lichtbenutting (dimensieloos; 0 < Q2 < 0.42);
 m = constante die de curvatuur bepaalt (dimensieloos; 0 < m < 1).



Figuur 5.5. Weergave van niet-lineaire hyperbool bij 3 waarden voor m. De andere waarden: ETR_{max} = 190 μmol.m⁻².s⁻¹; Q2 = 0.35.

De parameters van vergelijking [1] zijn aan de meetpunten gefit met het programma MathCad 15 (PTC, USA) op basis van een kleinste kwadratenmethode.

Bepaling dagsommen

De lichtsom en de ETRsom werden berekend via integratie van de met de HEX-PAM gemeten PAR en ETR, aannemend dat de PAR en ETR gedurende de integratieperiode (15min) constant waren.

Meetprotocol

Tijdens de proef is het volgende meetprotocol aangehouden.

- Meetlicht alleen aan tijdens meting!
- Fv/Fm meting in donker 15 min. voor start belichting
 - 22:45 als de belichting om 23:00 start
- Tussen 23:00 en 19:15
 - Elke 15 min. meting als PAR (#1) > 3 μmol.⁻².s⁻¹
 - Elke 60 min. meting als PAR (#1) ≤ 3 μmol.⁻².s⁻¹
- Tussen 19:15 en 22:45 geen metingen
- Om 02:00 meting lichtrespons (6 lichtstappen) voor bepaling potentiële ETR
 - Elke stap duurt 2 min.
- Data real-time naar www.etr-monitor.com

In de week voor de Kerst is een speciaal meetprotocol uitgevoerd waarbij om 16:00 een tweede meting van de lichtrespons werd uitgevoerd.

De bloemen- en planten-
sector investeert in dit
project via het



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

