

Belichting tomaat

Elk belichtingsuur volledig benutten

Tom Dueck, Esther Meinen, Johan Steenhuizen, Rens Muusers, Dik Uenk & Leo Marcelis





Belichting tomaat

Elk belichtingsuur volledig benutten

Tom Dueck, Esther Meinen, Johan Steenhuizen, Rens Muusers, Dik Uenk & Leo Marcelis

© 2007 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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 Wageningen UR Glastuinbouw



PHILIPS



GE Structured Products

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 65, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
Voorwoord	3
1. Inleiding	5
2. Materiaal en methoden	7
2.1 Plantmateriaal en teelt	7
2.1.1 Plant materiaal	7
2.1.2 Teeltcondities	7
2.1.3 Teeltbegeleiding	8
2.2 Behandelingen	8
2.3 Metingen	9
2.3.1 Verdeling lamplicht	9
2.3.2 Gewaswaarnemingen	10
2.3.3 Productie	10
2.3.4 Fotosynthese	10
2.3.5 Zetmeelbepaling	11
2.3.6 Destructieve metingen	11
2.3.7 Lichtdoordringing	12
2.3.8 Temperatuur	12
2.3.9 Energie	13
3. Resultaten	15
3.1 Licht	15
3.2 Klimaat	17
3.3 Teelt	17
3.4 Gewaswaarnemingen	18
3.5 Productie en groei	19
3.5.1 Productie	19
3.5.2 Groei	23
3.6 Fotosynthesecapaciteit	24
3.7 Zetmeel	26
3.8 Lichtdoordringing	27
3.9 Temperatuur	27
3.10 Energie	30
4. Discussie	33
5. Conclusies	37
6. Referenties	39

	pagina
Bijlage I. Verdeling lampen in de 4 kasafdelingen	1 p.
Bijlage II. Opbouw belichting in 4 kasafdelingen	1 p.
Bijlage III. Verslag met projectgroep (voorbeeld van 1 bijeenkomst)	2 pp.
Bijlage IV. Gewaswaarnemingen	1 p.
Bijlage V. Destructieve oogsten	1 p.
Bijlage VI. Temperatuurgradiënt kaslucht	1 p.
Bijlage VII. Buitentemperatuur	1 p.
Bijlage VIII. Foto's	3 pp.

Samenvatting

Uit een overleg geïnitieerd door Hortilux Schröder in de zomer van 2005 is een onderzoeksvoorstel tot stand gekomen waarvan de resultaten in dit rapport zijn gepresenteerd. De doelstelling van het onderzoek is om de effecten van verschillende belichtingsstrategieën op productie, gewasgroei, gewasontwikkeling, fotosynthese, ophoping van assimilaten en temperatuurverdeling te onderzoeken bij tomaat. De primaire onderzoeksvragen zijn:

- Welke belichtingsduur is optimaal?
- Wat is efficiënter: kort intensief belichten, of langer belichten met een lage intensiteit?

Twee onderliggende vragen zijn:

- Wat bepaalt de efficiëntie van de langere belichtingstijden: de aanmaak van assimilaten (fotosynthese), of de verdeling van assimilaten naar de vruchten?
- Hoe kunnen de laatste belichtingsuren optimaal worden benut?

Voor dit onderzoek werden tomaten van het ras Ever op 20 oktober 2005 geplant. Tussen 9 december en 5 april werd gedurende 12, 15 en 18 uur per etmaal belicht met een lichtintensiteit van $162 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. In een vierde behandeling werden planten 18 uur belicht met een lagere intensiteit ($135 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), waardoor de lichtsom gelijk was als bij de hoge lichtintensiteit gedurende 15 uur.

In de belichtingsperiode van december tot april kregen de planten met 15 uur belichting (hoge intensiteit) en 18 uur bij lage intensiteit 12% meer groeilicht dan de planten bij 12 uur belichting. De planten onder 18 uur hoge intensiteit kregen 25% meer licht. De tomaten werden Pepino-vrij geteeld.

In de praktijk wordt verondersteld dat de fotosynthese meer geremd wordt naarmate de belichtingsduur toeneemt. De metingen gaven echter een ander beeld. Na aanzetten van de belichting neemt de fotosynthesecapaciteit, oftewel potentieel voor fotosynthese, toe gedurende de eerste 30 min. Daarna blijft de fotosynthesecapaciteit gelijk aan het niveau van het gewas gedurende de rest van de dag. Aanbevolen wordt niet alle lampen tegelijk aan te schakelen, waardoor energiebesparing mogelijk is.

De fotosynthesecapaciteit is stabiel gedurende de dag, ongeacht de belichtingsduur en -intensiteit. De fotosynthese werd blijkaar niet geremd door een ophoping van assimilaten in het blad. Bij metingen gedurende de belichtingsperiode was de hoeveelheid zetmeel in alle behandelingen op het eind van de dag vrijwel even hoog als bij het aangaan van de lampen.

Dat het gewas het groeilicht volop bleef benutten blijkt ook uit de plantbelasting en de productie. De plantbelasting bij 18 uur belichten met hoge intensiteit (18 H) ligt de hele belichtingsperiode ruim boven de andere behandelingen. Het gewas kon meer vruchten dragen dan in de andere behandelingen, en het effect van de belichting op de productie is nog duidelijker bij 18 H. De hoogste productie werd bereikt bij 18 H. Dit geldt zowel voor de belichtingsperiode (winter periode) als de daarop volgende 6 weken. Deze tendens zette zich voort in de zomer. De totale productie per m^2 van de behandelingen was begin augustus achtereenvolgens 46,7 kilo (18 H), 43,8 kilo (15 H), 42,7 kilo (18 L) en 39,1 kilo (12 H). Bij het telen van een Pepino-vrij tomatengewas is het dus mogelijk gebleken meer te produceren met meer dan 15 uur belichting, in tegenstelling tot ervaringen van vele Nederlandse tuinders tot nu toe.

Opvallend is dat bij een gelijke lichtsom, de hoge lichtintensiteit bij kortere duur meer efficiënt is dan een lange belichtingsduur bij lage lichtintensiteit. Bij 15 uur belichten bij een hogere intensiteit (15 H) werd een 7% hogere productie gerealiseerd dan bij 18 uur bij een lagere intensiteit (18 L), terwijl de totale hoeveelheid licht (lichtsom) hetzelfde was. Door drie uur minder te belichten is gebleken dat er naast een productietoename minder kosten voor de lampen (elektriciteit) worden gemaakt en kan drie uur langer elektriciteit worden teruggeleverd aan het net.

Een belichtingsduur van 15 en 18 uur resulteerde in een grotere productiesprong dan op grond van de toegenomen hoeveelheid licht verwacht mocht worden. Naarmate de lichtstraling (som) toenam, steeg de efficiëntie waarmee het gewas het licht omzette in productie. Uit de productiecijfers blijkt dat het zwaarst belichte gewassen het meest

efficiënt omgingen met het aangeboden zon- en lamplicht. Daarbij was er weinig verschil tussen 15 H en 18 H. Hiermee lijkt de stelregel dat 1% meer licht tot 0.8% meer productie leidt overstegen te worden. Er moet echter rekening gehouden worden met de totale hoeveelheid energie dat de kas ingaat, niet alleen het licht. Naast de toename van de belichtingsefficiëntie heeft belichten met hogere intensiteit het extra voordeel dat er bespaard kan worden op verwarming via de netverwarming. Zowel de energie t.b.v. groeilicht als de energie die verbruikt wordt t.b.v. verwarming bepalen de energie-input in de kas. De behandeling van 15 en 18 uur belichten met hoge lichtintensiteit resulteerde in de hoogste productie per MJ energie-input. Met resp. 4% en 5% meer energie t.o.v. de 12 H behandeling, werd de productie bij 15 H en 18 H met resp. 14% en 23% verhoogd. Bij dezelfde lichtsom, kost 18 uur belichten met een lagere lichtintensiteit minder energie in totaal dan 15 uur met de hogere lichtintensiteit. Maar de productie is hoger bij 15 H. Mede door het feit dat men ook drie uur minder belicht en terug kan leveren aan het net, rijst de vraag wat financieel gunstiger is.

Dit project heeft veel belangstelling gehad. Naast de vele bezoeken van o.a. tomatentelers en -voorlichters is een aantal publicaties en voordrachten gehouden over de resultaten van het project. Deze volgen hieronder:

Publicaties in vakbladen

- Belichtingsproef van start, door Leo Marcelis, Tom Dueck & Esther Meinen. LTO Groeiservice, 16 januari 2006.
- Proeven nader bekeken, door Joke Vreugdenhil. LTO Groeiservice, 14 februari 2006.
- Stand van zaken Belichtingsproef, door Joke Vreugdenhil. LTO Groeiservice, 3 april 2006.
- Tomaat belicht, door Leo Marcelis, Tom Dueck, Esther Meinen & Rens Muusers. LTO Groeiservice, 22 mei 2006.
- Belichtingsproef, door Tom Dueck, Esther Meinen, Rens Muusers & Leo Marcelis. LTO Groeiservice, 25 september 2006.
- Belichtingsproef tomaat, door Tom Dueck, Esther Meinen & Leo Marcelis. LTO Groeiservice, 20 november 2006.
- Elk belichtingsuur volledig benutten bij tomaat. Onder Glas, 4 april 2006, blz. 55.
- Belichte tomaten produceren bij lange na niet beloofde 100 kilo per m², Leo Marcelis (interview). Agrarisch Dagblad, 12 januari 2006, blz. 10.
- Belichting tomaat leeft, door Peter Visser en Leo Marcelis (interview). Groenten & Fruit, week 5, 2006, blz. 16-17.
- Mooiste tomatengewas kreeg meeste licht. Groenten & Fruit, week 40, 2006, blz. 18.
- Intensief belichten geeft het hoogste rendement, door Gerard Boonekamp en Tom Dueck (interview). Groenten & Fruit, week 45, 2006, blz. 22-23.

Voordrachten

- Bijeenkomst ZHG/ZWN, 25 september 2006, Poeldijk.
Belichting bij tomaat: elk uur volledig benutten. Tom Dueck, Esther Meinen, Rens Muusers & Leo Marcelis.
- Licht Symposium Hortilux Schröder, 30 oktober 2006, Naaldwijk.
Belichting bij tomaat: elk uur volledig benutten. Tom Dueck, Esther Meinen, Rens Muusers & Leo Marcelis.

Voorwoord

In de zomer van 2005 is een bijeenkomst belegd waaraan vertegenwoordigers van Hortilux Schröder, een aantal belichtende tuinders en onderzoekers van Wageningen UR deelgenomen hebben. Uit dit overleg is een onderzoeksvoorstel tot stand gekomen over de effecten van verschillende belichtingsstrategieën.

Het projectvoorstel werd goedgekeurd en vervolgens is het gefinancierd door het Productschap Tuinbouw (PT nr. 12383), Hortilux Schröder B.V., Philips B.V. en Jenbacher Gas Engines.

Het project werd ondersteund door een projectgroep met de volgende samenstelling: Joke Klap (PT), Sjaak Vergeer (Hortilux Schröder), Joke Vreugdenhil (LTO Groeiservice), Sander Pot (Philips) en Ep Heuvelink (WU).

Veel tijd en zorg werd aan het project besteed door de teeltbegeleiders Pieter van Staalduinen, Vasco Zwinkels, Jan Mulder en Ruud Kaarsemaker.

De auteurs van dit rapport willen Ad Hermsen en Geurt Versteeg in het bijzonder bedanken voor hun inzet en toewijding bij de teeltverzorging tijdens dit onderzoek.

1. Inleiding

Toepassing van groeilicht in Nederland is de laatste jaren toegenomen tot ruim 2000 ha van de totale glastuinbouw areaal. Het totale oppervlak aan tomatenteelt bedraagt 1350 ha (KWIN 2006) waarvan 130 ha door de belichte teelt in 2005. De belangrijkste redenen om belichting toe te passen zijn productieverhoging, kwaliteitsverbetering, de mogelijkheid om eerder in het jaar te produceren en om jaarrond te produceren (Heuvelink *et al.*, 2006) en als een stuurmiddel voor productie en kwaliteit (Marcelis *et al.*, 2002). In navolging van de Finse kwekers wordt er in Nederland steeds intensiever gebruik gemaakt van het groeilicht. Echter, verlenging van de belichtingsduur van 15 naar 18 uur levert niet de gewenste meerproductie op. Bovendien treden er bij intensieve belichting verschijnselen op die 'zwarte koppen' worden genoemd. De nerven in de kop van het gewas kleuren paars, er is onvoldoende bladstrekking in de kop en het staat 'hard en stug' in de kop.

Gebruik van groeilicht vraagt ook aanpassingen van klimaat en teeltmaatregelen om optimaal te kunnen telen. Hoe de efficiëntie van groeilicht verhoogd kan worden, door aanpassing van temperatuurinstellingen en andere teeltmaatregelen is niet volledig bekend (Heuvelink *et al.*, 2006).

Naar aanleiding van een enquête onder tuinders heeft Hortilux Schröder in 2005 een bijeenkomst georganiseerd met onderzoekers van Wageningen UR en een groep belichtende tomatentelers. Uit dit overleg is een onderzoeksvoorstel tot stand gekomen waarvan de resultaten in dit rapport worden gepresenteerd. De doelstelling is om de effecten van verschillende belichtingsstrategieën op productie, gewasgroei, gewasontwikkeling, fotosynthese, ophoping van assimilaten en temperatuurverdeling te onderzoeken bij tomaat. De volgende 4 onderzoeksvragen zijn geformuleerd:

1. Welke belichtingsduur is optimaal?
2. Wat is efficiënter: kort intensief belichten, of langer belichten met een lage intensiteit?
3. Waarom kunnen langere belichtingstijden niet meer efficiënt door de plant worden benut: is de aanmaak van assimilaten (fotosynthese) niet meer optimaal of is de verdeling van assimilaten naar de vruchten niet optimaal?
4. Welke maatregelen moeten worden genomen om ook de laatste belichtingsuren optimaal te benutten?

Het onderzoek is uitgevoerd in 4 proefkassen in Wageningen van oktober 2005 tot augustus 2006. Er zijn in dit experiment 3 belichtingsperioden gegeven van 12, 15 en 18 uur met een lichtintensiteit van $162 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (12.500 lux). In deze 3 kassen was de lichtintensiteit van de groeilicht gelijk, maar de belichtingsduur verschilde waardoor ook de lichtsommen die de planten per dag kregen van de groeilicht verschillend waren. Door de resultaten van deze 3 behandelingen te vergelijken wordt de onderzoeksvraag 'welke belichtingsduur is optimaal' beantwoord. In een vierde behandeling werd 18 uur belicht met een lagere lichtintensiteit van $135 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (10.400 lux). De lichtsom van deze behandeling is gelijk aan de lichtsom van de behandeling die 15 uur werd belicht met een hoge lichtintensiteit. Door de resultaten van deze 2 behandelingen te vergelijken wordt een antwoord verkregen op de tweede onderzoeksvraag: wat is efficiënter: kort intensief belichten, of langer belichten met een lage intensiteit?

In dit onderzoek zijn tevens twee maatregelen getest om de efficiëntie van het belichten te vergroten. Door het gebruik van groeilicht wordt naast licht ook warmte ingebracht in de kas bij de koppen van het gewas. Het gewas kan onderin relatief koeler worden als de kaslucht verwarmd wordt via de bovenzijde van het gewas en er minder buisverwarming via de onderkant wordt ingebracht. Er kan een verticale temperatuurgradiënt ontstaan in het gewas die ongunstig is voor het transport van assimilaten naar de afrijpende vruchten. Als nevenbehandeling is extra buisverwarming onderin het gewas gebracht om de verticale temperatuurgradiënt te verkleinen. Een tweede nevenbehandeling is het aanpassen van de rijstructuur zodat het licht dieper in het gewas kan doordringen. Het idee hiervan is dat het meeste licht onderschept wordt en gebruikt wordt voor fotosynthese door de bovenste bladlagen van het gewas. Een deel van de bladeren kunnen verzadigd zijn met licht en het licht niet optimaal benutten voor fotosynthese. Door de rijstructuur aan te passen bereikt meer licht de onderste bladeren die mogelijk nog niet licht verzadigd waren en dit extra licht kunnen benutten voor fotosynthese.

2. Materiaal en methoden

2.1 Plantmateriaal en teelt

2.1.1 Plant materiaal

Geënte tomatenplanten (grove trostomaat, ras Ever geënt op Maxifort) werden op 20 oktober 2005 (week 42) geplant in 4 kascompartimenten van elk 144 m² in een Venlo-kas in het kassencomplex 'De Haaff' in Wageningen. De noordzijde van de kasafdelingen grensden aan een corridor en de zuidzijde aan andere kasafdelingen. De vloer van de kasafdelingen was van beton. De lichttransmissie van de kassen was circa 62 %. De planten waren gezaaid op 7 september 2005 en opgekweekt door plantenkweker de Merel in De Lier bij 18°C dag en nacht en 500 ppm CO₂. De planten werden geleverd op duoblokken en werden op goten met steenwol matten geplaatst met een breedte van 20 cm (Grodan, type Expert). In eerste instantie werden de planten naast het plantgat geplaatst. Op het moment dat de eerste tros bloeide werden de planten op het plantgat gezet (3 november 2005).

2.1.2 Teeltcondities

De goten stonden op 8 cm boven de betonnen vloer en bevonden zich dus dicht bij de verwarmingsbuizen. Deze lage positie van de goten was noodzakelijk om voldoende afstand te handhaven tussen de kop van het gewas en de lampen (120 cm). De rijpende tros hing op circa 30 cm boven de vloer. Het gewas kon op deze manier een hoogte bereiken van 2.5 meter.

De plantdichtheid was 2.5 planten per m². De rijafstand was 150 cm en de afstand tussen de planten in een rij bedroeg 53 cm. In iedere kasafdeling waren 8 plantbedden, waarbij de planten in de buitenste 2 plantbedden dienden als randplanten. In totaal stonden er 36 planten op een plantbed. In week 4 werd bij 1 op de 6 planten een extra stengel aangehouden, waarmee de stengeldichtheid werd verhoogd van 2.5 naar 2.9 stengels per m². In week 7 werd opnieuw een extra stengel aangehouden bij 1 op de 6 planten en daarmee kwam de stengeldichtheid op 3.3 stengels per m².

Er ontstonden gaten in het gewas door het verwijderen van planten voor destructieve oogsten. In november 2005 en januari 2006 werden deze plantgaten opgevuld met reserveplanten. De gaten die ontstonden in februari en maart 2006 werden niet opgevuld, maar bij de er naastgelegen plant werd een extra stengel aangehouden. De stengeldichtheid van het gewas bleef hierdoor gelijk.

De planten kregen voedingsoplossing toegediend via druppelaars. De samenstelling van de voedingsoplossing werd eventueel aangepast naar aanleiding van wekelijkse analyses uitgevoerd door het BLGG in Naaldwijk.

Voor de bestuiving werden hommels gebruikt. Kasten werden geopend tussen 10:00 uur en 14:00 uur. De trossen werden gebeugeld tot 24 januari 2006 (week 4). Trossen werden gesnoeid op 5 vruchten per tros. Blad onder de afrijpende trossen werd geplukt conform de praktijk.

In alle afdelingen hing groeilicht. Details zijn in de volgende paragraaf beschreven, omdat dit de behandelingen van het experiment vormden. In alle afdelingen hingen 85% lichthinderschermen (XLS SL 85 W/W van Ludvig Svensson). Deze schermen werden gesloten als de assimilatieverlichting brandde conform de huidige wetgeving (gebruik van een 85% lichthinderdoek tussen 20:00 uur en 0:00 uur). Tussen de afdelingen hingen lichtdichte witte gevelschermen. Deze werden alleen gesloten als groeilicht brandde en de kasafdeling er naast donker moest zijn. De CO₂ die in dit experiment werd toegediend was afkomstig van zuivere CO₂ uit flessen. Als de ramen geopend werden werd de instelling van CO₂ verlaagd naar 400 ppm.

De Hoogendoorn klimaatcomputer registreerde elke 5 minuten de setpoints en gerealiseerde waarden voor het klimaat.

2.1.3 Teeltbegeleiding

De tomatengewassen in alle 4 afdelingen werden geteeld onder begeleiding van teeltbegeleiders en conform de praktijk. Eén of meerdere teeltbegeleiders bezochten tot half maart 2006 wekelijks de proef, daarna tweewekelijks. Bij deze bezoeken vond overleg plaats met de projectgroep en werden de teelt, de voortgang en de resultaten besproken. Om virusvrij te telen zijn een aantal maatregelen genomen. De kasafdelingen werden alleen betreden door mensen die er moesten werken. Dragen van jassen/pakken, handschoenen, en schoenhoezen in de kasafdelingen was verplicht. Tijdens het experiment werd het gewas regelmatig getest op het voorkomen van virussen. Tot 9 december 2005 waren de belichtingsbehandelingen nog niet gestart en werden de gewassen in de 4 kasafdelingen op dezelfde manier geteeld. Vanaf de start van de 4 belichtingsbehandelingen werd iedere afdeling individueel gestuurd om bij de heersende lichtbehandeling een zo goed mogelijk gewas te telen. Dit houdt in dat temperatuurinstellingen tussen de 4 kasafdelingen verschillend konden zijn.

2.2 Behandelingen

In Tabel 2.1 staan de belichtingsbehandelingen die in de 4 kasafdelingen werden gegeven.

Tabel 2.1. *Belichtingsduur en lichtintensiteit in de 4 kasafdelingen.*

Kasafdeling	Behandeling	Belichtingsduur (uren)	Lichtintensiteit		Lichtsom (mol m ² dag ⁻¹)
			($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	(lux)	
1	12 H	12	162	12.500	7
2	15 H	15	162	12.500	8.8
3	18 H	18	162	12.500	10.5
4	18 L	18	135	10.400	8.8

In alle kasafdelingen zijn de volgende armaturen en lampen opgehangen (geleverd door Hortilux Schröder): HS 2000 met een Deep reflector en een 600 Watt Philips Son-T Green Power (400 V) lamp. Het lichtplan (positie van de lampen in het gewas) is opgesteld door Hortilux Schröder (zie Bijlage I).

In kasafdelingen 1, 2 en 3 hingen in totaal 24 lampen en in kasafdeling 4 hingen 20 lampen (kas oppervlak 144 m² per afdeling). In elke kasafdeling werden 4 rijen lampen opgehangen. Iedere kas had 8 plantbedden met hier tussen 7 paden. De lampen hingen boven de paden. Afwisselend werden er boven een pad wel lampen geplaatst en boven het pad ernaast werden geen lampen geplaatst. De afstand tussen de rijen met lampen bedroeg 3 meter. De afstand tussen de gevel en de buitenste rij lampen bedroeg 1.5 meter. In de 3 afdelingen met de hoge lichtintensiteit werden boven de paden 6 lampen gehangen met een onderlinge afstand van 2 meter. In de kasafdeling met de lage lichtintensiteit was deze afstand tussen 2 lampen 2.45 meter en hingen er 5 lampen per rij. In Bijlage I is de verdeling van de lampen in de kasafdelingen aangegeven. Lampen werden bevestigd aan de tralie en hingen op 3.93 meter boven de vloer.

Om een goede gewasopbouw te krijgen werd niet direct belicht vanaf planten. De belichtingsbehandelingen, zoals aangegeven in Tabel 1, startten op 9 december 2005. In de 5 weken ervoor was de belichting geleidelijk opgebouwd zoals aangegeven in Bijlage II. In de periode tussen 5 november en 24 november hebben de planten in de 4 kasafdelingen dezelfde lichtsom gekregen. Tussen 25 november en 9 december werd de lichtsom proportioneel opgebouwd om de uiteindelijk lichtsommen te bereiken die de maanden daarna werden gehandhaafd in de kasafdelingen.

In het onderzoek is de belichting altijd een half uur voor zonsondergang gestopt, zodat het gewas met natuurlijk licht de nacht inging. Het spectrum van assimilatielicht is anders dan van natuurlijk licht; groeilicht bevat een hogere

verhouding rood/verrood licht. Het pigment fytochroom is gevoelig voor deze verhouding en speelt een rol bij hoe een plant de lengte van de nacht ervaart. Met name de rood/verrood verhouding aan het einde van de dag is belangrijk. In het projectvoorstel was dit ook opgenomen om bij belichtende telers die tot na zonsondergang belichten te onderzoeken wat de effecten zijn van nabelichten met verrood licht. Helaas bleken er geen belichtende tuinders te zijn die altijd tot na zonsondergang belichten, omdat dat afhankelijk was van het gewas en de prijs van de terug te leveren energie. Dit deelonderzoek is na overleg met de opdrachtgevers niet uitgevoerd.

De lichtsommen in Tabel 1 zijn gegeven vanaf 9 december tot 15 februari. Tussen 15 februari en 14 maart schakelden de lampen uit als de instraling buiten hoger was dan 300 W m^{-2} . In de kasafdelingen met hoge lichtintensiteit schakelden de lampen 2 uur uit en in kasafdeling 4 schakelden de lampen 2:24 uur uit, zodat de lichtsommen van de lampen in de kasafdelingen 2 en 4 gelijk bleven per dag. Tussen 15 maart en 5 april brandden de lampen overdag alleen bij donkere dagen (totaal op 2 dagen). Op de andere dagen gingen de lampen uit om 10:00 uur in kasafdelingen 1, 2 en 3 en om 8:21 uur in kasafdeling 4, zodat de lichtsommen in kasafdelingen 2 en 4 gelijk waren. Vanaf 5 april 2006 hebben de lampen niet meer gebrand.

Bij het lengen van de dagen werden de tijdstippen van belichten verschoven. Lampen schakelden uit 30 minuten voor zonsondergang. De belichtingstijden werden wel gehandhaafd, dat betekent dat de lampen 's morgens dus later gingen branden.

In dit experiment werden nog 2 andere behandelingen uitgevoerd binnen de 4 aanwezige kasafdelingen met belichtingsbehandelingen (Tabel 2.2).

Tabel 2.2. Nevenbehandelingen in het belichtingsexperiment.

Behandeling	Kasafdeling	Beschrijving
Aangepaste rijstructuur	3 *	Smaller plantbed; breder pad
Temperatuurgradiënt	alle	Dubbele buis rondom 1 plantbed

* *Kasafdeling met 18 uur belichting en hoge lichtintensiteit.*

Bij de behandeling 'aangepaste rijstructuur' werden de gewasdraden in 1 plantbed in de kasafdeling met 18 uur belichting met hoge lichtintensiteit dicht bij elkaar gehangen op een onderlinge afstand van 40 cm. Ook de gewasdraden direct naast dit plantbed werden op deze manier verhangen en deze rijen dienden als randrijen. Op deze manier werd het pad verbreed. De gewasdraden werden verhangen op 16 januari 2006 (week 3). Het gewas had toen de maximale hoogte bereikt. In alle andere plantbedden was de afstand tussen de gewasdraden 60 cm. Groeilicht geeft naast licht ook warmte waardoor de kaslucht bij de koppen van het gewas opwarmt. Door de warmte inbreng in de kas aan de bovenzijde van het gewas hoeft er via de buis (aan de onderzijde van het gewas) minder warmte ingebracht te worden. Op deze manier kan er een verticale temperatuurgradiënt ontstaan in het gewas, waarbij de kaslucht bij de kop van het gewas warmer is dan de kaslucht bij de rijpende vruchten. Bij de behandeling 'temperatuurgradiënt' werd in 1 plantbed in alle kasafdelingen een extra buis aangelegd die onafhankelijk van het reguliere buissysteem geregeld kon worden. Deze buis was 40° C tijdens de lichtperiode tussen 8 februari en 2 mei 2006, met als doel de verticale temperatuurgradiënt te verkleinen.

2.3 Metingen

2.3.1 Verdeling lamplicht

De lichtintensiteit van het lamplicht is in alle kasafdelingen gemeten op 1.20 m en op 1.70 m onder de lampen. Metingen zijn uitgevoerd na zonsondergang met een lichtsensor (Licor quantum sensor) en een LI-1000 datalogger (Licor) die de straling meet tussen 400 en 700 nm (fotosynthetisch actieve straling; ook wel PAR genoemd). De horizontale verdeling van het licht in de kassen is gemeten door metingen uit te voeren in de lengte van de kas en in de

breedte van de kas met 0.5 m afstand tussen de meetpunten. Er is gemeten recht onder de lampen en tussen de lampen.

Voor het berekenen van de lichtsommen die de gewassen in alle kasafdelingen hebben gehad is gerekend met de metingen die gedaan zijn op 1.20 m onder de lampen. Dit is de afstand van de lamp tot de koppen van het gewas die gedurende het grootste deel van de teelt gerealiseerd is. Er is gecorrigeerd voor het lichtverlies van de lampen (0.5% per 1000 branduren) en voor het lichtverlies door vervuiling van de armaturen (1.5% over het hele belichtingsseizoen) (Vergeer, pers. mededeling).

2.3.2 Gewaswaarnemingen

Elke week werden er gewaswaarnemingen uitgevoerd aan 3 planten per kasafdeling. Deze werden gebruikt, in combinatie met de stand van het gewas en de weersverwachting, voor teeltsturing. De volgende waarnemingen werden uitgevoerd: laatst bloeiende tros, laatst gezette tros, laatste gekleurde tros, lengtegroei, koplengte (afstand groeipunt tot bloeiende tros), stengeldikte, bladlengte (beide ter hoogte waar de kop er de week daarvoor zat), aantal bladeren, plantbelasting (totaal aantal vruchten).

Van 10 planten in iedere kasafdeling is de vruchtontwikkeling gevolgd van 6 trossen (trosnummers 2, 4, 7, 11, 17, 21). Deze trosnummers zijn gemiddelden; sommige planten waren 1 tros voor of achter. Het volgende is geregistreerd en gemeten: moment van zetting en oogst, vers- en drooggewicht van de vruchten.

2.3.3 Productie

Trossen werden 2 keer in de week geplukt als de laatste vrucht van de tros was doorgekleurd. Trossen werden per plantbed geplukt en het totale versgewicht werd bepaald. Vervolgens werden het aantal trossen en het aantal vruchten per tros geteld. De productie werd berekend per m² kasoppervlakte door per plantbed het totale versgewicht te delen door het totaal aantal planten op het plantbed en te vermenigvuldigen met de plantdichtheid. Door destructieve oogsten zijn er planten verwijderd uit de plantbedden. Productie werd berekend op bovenstaande manier. Er werd dus gecorrigeerd voor het plantaantal en de productie werd berekend met de aanname dat het plantbed het oorspronkelijke aantal planten had.

2.3.4 Fotosynthese

De fotosynthesecapaciteit werd gemeten met een draagbare fotosynthesemeter (LCpro+, ADC, Hoddesdon, Verenigd Koninkrijk) met een bladkamer van 6.25 cm². Metingen werden gedaan aan het topblaadje van het zesde of zevende samengestelde blad geteld vanaf de top. Dit is een bijna volgroeid blad, dat niet beschadwd wordt door bovenliggende bladeren. In de bladkamer stroomt lucht met een constante snelheid langs het blad. Uit het verschil van de hoeveelheid CO₂ van de ingaande en uitgaande lucht wordt de netto fotosynthese berekend.

De condities in de bladkamer werden ingesteld. Met een externe lichtbron werd 465 μmol PAR m⁻²s⁻¹ op het blad gegeven, de CO₂ concentratie in de bladkamer was 700 ppm, de temperatuur was 21°C in de winter en 28°C in juli, en de relatieve luchtvochtigheid van de uitgaande lucht was circa 85%.

Fotosynthesecapaciteit (zie kader voor toelichting) is op 4 momenten gedurende de teelt gemeten: in december 2005, januari, februari en juli 2006. Op elk van deze 4 momenten is gedurende 2 of 3 dagen de fotosynthesecapaciteit gemeten in alle kasafdelingen tussen 9:00 uur en 1 uur nadat de lampen uitgingen. In juli brandden de lampen niet meer en is gemeten tussen 8:00 uur en 12:30 uur. De metingen duurden circa 10 minuten per plant. Er werd iedere keer aan een andere plant gemeten. Na elke meting werd de apparatuur verplaatst naar een andere kasafdeling, zodat de fotosynthesecapaciteit gedurende een dag in kaart gebracht werd in elke kasafdeling.

In de nacht van 24 op 25 januari 2006 is de fotosynthesecapaciteit gemeten op het moment dat de groeilicht aan ging. Een meting aan 1 blad duurde zo lang tot de netto fotosynthese een stabiele waarde had bereikt. Vervolgens werd ieder 10 minuten aan een ander blad gemeten.

Tevens zijn lichtresponscurven gemeten, waarbij de netto fotosynthese is gemeten bij 7 verschillende lichtniveaus in de bladkamer (0-50-100-200-500-800-1600 μmol PAR m⁻² s⁻¹) en bij 700 ppm CO₂ in de bladkamer. Metingen zijn

uitgevoerd op 3 hoogten in het gewas; aan blad 6/7 (hoog in het gewas), blad 10 en blad 18/19 (onderin het gewas). Metingen zijn uitgevoerd met een LiCor-6400.

Fotosynthesecapaciteit

In dit experiment is de fotosynthesecapaciteit van een blad gemeten bij $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Het zijn dus géén actuele fotosynthese metingen. Actuele fotosynthese is namelijk sterk afhankelijk van de heersende klimaatcondities en is variabel gedurende de dag als met name het lichtniveau varieert. Door te meten met vaste klimaatcondities in de bladkamer (zie foto) wordt de fotosynthese *capaciteit* gemeten; dat wil zeggen dat de hoeveelheid CO_2 die het blad opneemt gemeten wordt (en vervolgens kan gebruiken om suikers van te produceren) onder deze specifieke condities. Dit maakt het mogelijk om alle metingen gedurende de dag en in de verschillende kasafdelingen onderling te vergelijken.



Tomatenblad in de bladkamer van de fotosynthesemeter met een ingebouwde lichtbron erboven.

2.3.5 Zetmeelbepaling

Op verschillende momenten van de dag waarop fotosynthesemetingen zijn uitgevoerd, zijn monsters van bladeren genomen om zetmeelgehalten te meten. Er zijn monsters genomen aan het einde van de lichtperiode en aan het einde van de donkerperiode en om 9:00 uur op dagen in december en januari waarop ook fotosynthesecapaciteit is gemeten (21, 22 december 2005, 18, 24 januari 2006). Er werden bladponsjes genomen (4 cm^2) van het zesde blad van boven. Eén monster bevatte bladponsjes van 9 verschillende planten. De monsters werden gewogen, ingevroren in vloeibare stikstof, gevriesdroogd en gemalen. Het zetmeelgehalte werd bepaald volgens de methode beschreven door Carvalho *et al.* (2006).

2.3.6 Destructieve metingen

Op 5 momenten tijdens de teelt zijn planten destructief geoogst uit alle kasafdelingen (Tabel 2.3).

Tabel 2.3. *Tijdstippen destructieve oogsten.*

Oogst	Datum	Beschrijving
1	24 nov 2005	Vóór de start opbouw belichtingsbehandelingen
2	11, 12 jan 2006	Maximale hoogte gewas
3	8, 9 feb 2006	Toenemende invloed van het buitenlicht
4	21, 22 maart 2006	Lampen niet meer aan overdag
5	15, 16 aug 2006	Einde experiment

Bij de eerste oogst zijn 4 planten per kasafdeling geoogst; bij de andere oogsten zijn er 6 planten per kasafdeling geoogst. De samenstelling van de 6 te oogsten planten per kas waren representatief voor het gewas in de kas met betrekking tot het aantal stengels. Dat betekent dat bij de laatste 3 oogsten er 4 planten werden geoogst met 1 stengel en 2 planten met een extra stengel.

Het aantal trossen en het aantal vruchten per tros zijn gescoord. De totale lengte (van de hoofdstengel) is gemeten. Het aantal bladeren, vers- en drooggewicht van de bladeren, stengels en trossen is bepaald en het bladoppervlak is gemeten met een bladoppervlaktemeter (Licor Model 3100, VS). Monsters zijn enkele dagen gedroogd bij 70°C en 1 dag bij 105°C.

Een tros werd gescoord als je deze met het blote oog kon zien. Een vrucht werd gescoord als de diameter groter was dan 2 mm. Een blad werd geteld als deze langer was dan 2 cm.

2.3.7 Lichtdoordringing

In de behandeling 18 H is de lichtdoordringing in het gewas gemeten bij diffuus licht en zonder groeilicht.

Lichtdoordringing is gemeten met behulp van lichtstok met PAR sensoren aan de bovenzijde van de stok (SunScan Canopy Analysis System, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, Verenigd Koninkrijk). De lichtstok had een lengte van de halve rijafstand (75 cm) die dwars in de rij werd gestoken. Tegelijkertijd werd er een referentiemeting uitgevoerd boven het gewas. Op deze manier is er op verschillende hoogtes in het gewas de hoeveelheid licht gemeten en is de lichtdoordringing in het gewas uitgerekend.

Metingen zijn uitgevoerd op 1 en 15 februari 2006 in het plantbed met een aangepaste rijstructuur (één rij) en in plantbedden met een normale rijstructuur (3 rijen) in dezelfde kasafdeling.

2.3.8 Temperatuur

Temperatuurgradiënt

Op 3 hoogtes in het gewas is de kasluchttemperatuur gemeten met thermokoppels (iedere 5 minuten een meting). Metingen zijn uitgevoerd bij de kop van het gewas (het 6^e blad), bij de rijpende tros en precies ertussen. Om de vruchttemperatuur te meten is een thermokoppel in een rijpende vrucht gestoken. Metingen zijn tegelijkertijd uitgevoerd in een plantbed met een dubbele buis en in dezelfde kasafdeling bij een normale buis. Er is gemeten in 2 behandelingen, 18 H en 18 L. Om een goede vergelijking te maken tussen het plantbed met de dubbele buis en de normale plantbedden is er voor gezorgd dat de afstand van de thermokoppels tot de verwarmingsbuizen gelijk was.

Planttemperatuur

De planttemperatuur is gemeten met planttemperatuurmeters (Brinkman). De meters zijn opgehangen op het moment dat het gewas de maximale hoogte had bereikt (januari 2006). In elke behandeling is 1 meter opgehangen met een kijkrichting naar het westen. De meters hingen 50 tot 75 cm boven het gewas in een hoek van 79° om de temperatuur van het bovenste gedeelte van het gewas te meten. De meetoppervlakte was 1.60 tot 3.53 m².

2.3.9 Energie

In alle kasafdelingen is energie ingebracht door de belichting en door buisverwarming. Voor de periode dat de belichtingsbehandelingen nagenoeg volledig zijn toegepast (9 december 2005 t/m 14 maart 2006) is de energie-input in de 4 behandelingen berekend. Berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de belichting (aantal lampen, branduren en opgenomen vermogen), buistemperaturen, en kasttemperatuur. Er is gecorrigeerd voor de gemiddelde gerealiseerde temperatuur van de aangrenzende kasafdelingen.

3. Resultaten

3.1 Licht

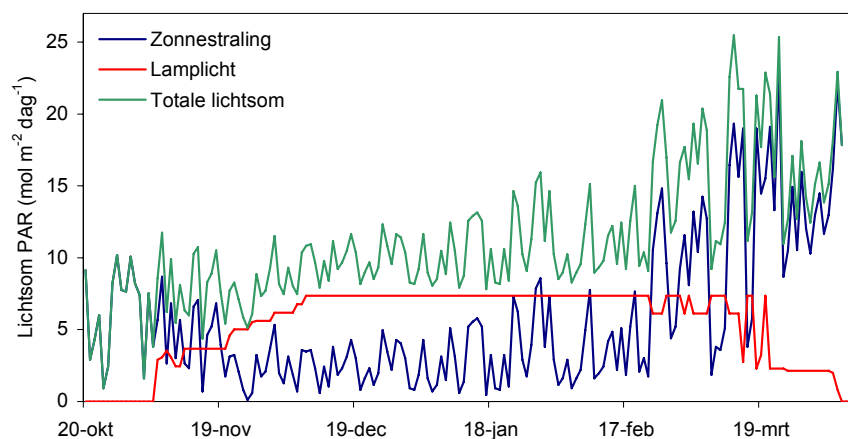
In Tabel 3.1 staat de gemiddelde lichtintensiteit in de 4 kasafdelingen gemeten op 1.2 meter en op 1.7 meter onder de lampen.

Tabel 3.1. *Gerealiseerde lamplichtintensiteit gemeten op 1.2 en 1.7 meter onder de lamp. Waarden zijn gemiddelden van 63 metingen op verschillende plaatsten in de kas met de standaardfout.*

Behandeling	Belichtingsduur (uur)	Opgegeven lichtintensiteit ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Gemeten lichtintensiteit ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)		Lichtsom op 1.2 m ($\text{mol m}^{-2}\text{dag}^{-1}$)
			1.2 meter	1.7 meter	
12 H	12	162	172.3 ± 2.1	170.9 ± 0.9	7.4
15 H	15	162	172.2 ± 2.3	170.0 ± 1.1	9.3
18 H	18	162	174.0 ± 2.6	168.7 ± 1.1	11.3
18 L	18	135	141.8 ± 2.3	139.4 ± 0.8	9.2

De lichtintensiteit was in elke kasafdeling 5% tot 7% hoger dan opgegeven door de leverancier (gemeten op 1.2 meter onder de lampen). De lichtsom in de kasafdeling die 18 uur werd belicht met lage intensiteit (18 L) is iets lager dan in de kasafdeling die 15 uur werd belicht met hoge lichtintensiteit (15 H). Voor lichtsomberekeningen zijn de gemeten waarden gebruikt en is gecorrigeerd voor lichtverliezen.

Figuur 3.1 laat zien hoe de verhouding was tussen de hoeveelheid assimilatiebelichting en de hoeveelheid zonne-straling gedurende de belichtingsperiode voor de kasafdeling die 12 uur werd belicht met hoge lichtintensiteit.



Figuur 3.1. *Lichtsom van groeilicht en van de zon ($\text{mol PAR m}^{-2}\text{dag}^{-1}$) in de kasafdeling met 12 uur belichting met $162 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.*

In Tabel 3.2 is het aandeel van de belichting ten opzichte van de totale hoeveelheid straling (zon en lampen) aangegeven voor verschillende perioden in de teelt. De 'belichtingsperiode' duurt van 20 oktober 2005 (plantdatum) tot 5 april 2006 (week 14). De 'belichtingsperiode + 6 weken daarna' is van 20 oktober 2005 tot en met week 20. Zes weken nadat de belichting gestopt is worden er nog tomaten geplukt die aangelegd en/of uitgegroeid zijn in de

periode dat belicht werd. In deze 6 weken was er weliswaar geen belichting meer, maar de effecten van de belichting zijn nog meetbaar. De hele teelt betreft de periode vanaf planten tot en met week 30 (30 juli 2006).

Tabel 3.2. *Hoeveelheid straling in de kas door lampen en zon in verschillende teeltperioden.*

Periode	Behandeling	Lichtsom in de kas (mol PAR m ² dag ⁻¹)			Aandeel lampen (%)
		Lamp	Zon ¹⁾	Totaal	
Belichtingsperiode (t/m week 14)	12 H	916	960	1875	48.8
	15 H	1144	960	2104	54.4
	18 H	1384	960	2344	59.1
	18 L	1132	960	2091	54.1
Belichtingsperiode + 6 weken daarna	12 H	916	1874	2790	32.8
	15 H	1144	1874	3018	37.9
	18 H	1384	1874	3258	42.5
	18 L	1132	1874	3006	37.7
Totale teelt (t/m week 30)	12 H	916	3792	4708	19.5
	15 H	1144	3792	4936	23.2
	18 H	1384	3792	5176	26.7
	18 L	1132	3792	4924	23.0

¹⁾ Omrekening van globale straling van de zon van MJ m² naar mol m²: vermenigvuldigen met 4.6 (Heuvelink & Dorais, 2005). De fractie fotosynthetisch actieve straling (PAR) van globale straling is 0.47. De transmissie van het kasdek is 62%.

In de belichtingsperiode is het aandeel van de lampen in de totale stralingssom 49% tot 59%, afhankelijk van de belichtingsduur.

Het gewas dat 18 uur belicht werd met de hoge lichtintensiteit heeft de meeste straling ontvangen en het gewas dat 12 uur werd belicht de minste straling. Dit kan relatief uitgedrukt worden, waarbij de behandeling met de laagste lightsom (12 uur belichten) op 100% wordt gesteld (Tabel 3.3). Gedurende de teelt tot en met de belichting (week 14) heeft het gewas dat 18 uur werd belicht met de hoge lichtintensiteit 125% licht (lamp + zon) ontvangen en de andere 2 behandelingen 112.5 % licht. Als dit uitgerekend wordt voor de hele teelt dan bedragen deze percentages 110% en 105%.

Tabel 3.3. *Totale relatieve hoeveelheid straling in de kas, waarbij de behandeling die 12 uur werd belicht op 100% is gesteld.*

Behandeling	Belichtingsperiode (t/m week 14)	Belichtingsperiode + 6 weken (t/m week 20)	Totale teelt (t/m week 30)
12 H	100.0	100.0	100.0
15 H	112.2	108.2	104.9
18 H	125.0	116.8	110.0
18 L	111.5	107.7	104.6

3.2 Klimaat

Uitgangspunt voor teeltsturing in alle kasafdelingen was de belichtingsbehandeling. Andere klimaatfactoren werden zodanig ingesteld met als doel een zo goed mogelijk gewas te telen conform de praktijk. Het gemiddelde gerealiseerde klimaat is onderverdeeld in 3 perioden: 'belichtingsperiode' (van plantdatum 20 oktober tot einde belichting 5 april), 6 weken na belichten (week 14 tot week 20) en de periode tot het einde van de teelt (week 21 - week 30).

Tabel 3.4. Gerealiseerd klimaat in de 4 kasafdelingen.

Periode	Factor	Behandeling			
		12 H	15 H	18 H	18 L
Belichtingsperiode (week 42 - week 14)	Etmaaltemp (°C)	19.1	19.2	19.3	19.1
	DIF (°C) ¹⁾	3.2	2.8	2.5	2.2
	RV (%)	82	81	80	78
	CO ₂ (ppm) ²⁾	560	548	567	540
Zes weken na belichting (week 14 - week 20)	Etmaaltemp (°C)	19.7	19.6	19.7	19.8
	DIF (°C)	4.5	4.2	4.1	4.2
	RV (%)	76	74	76	73
	CO ₂ (ppm) ²⁾	515	497	567	490
Week 21 - week 30	Etmaaltemp (°C)	22.9	22.7	22.7	23.3
	DIF (°C)	5.6	5.5	5.4	5.8
	RV (%)	72	70	73	68
	CO ₂ (ppm) ²⁾	467	469	508	437
Hele teelt (week 42 - week 30)	Etmaaltemp (°C)	20.1	20.1	20.2	20.3
	DIF (°C)	4.0	3.7	3.4	3.4
	RV (%)	78	77	78	75
	CO ₂ (ppm) ²⁾	530	521	553	507

¹⁾ DIF is het verschil tussen de gemiddelde temperatuur in de lichtperiode en de gemiddelde temperatuur in de donkerperiode. Onder lichtperiode wordt hier verstaan de periode vanaf zonsopkomst of lampen aan tot zonsondergang. (In de praktijk definieert men de lichtperiode van zonsopkomst tot zonsondergang).

²⁾ CO₂ concentratie in de lichtperiode, waarbij de lichtperiode gedefinieerd is zoals hierboven beschreven.

Verschillen in etmaaltemperatuur waren over de hele teelt maximaal 0.2°C, met het grootste verschil gedurende de laatste 10 weken van de teelt (0.6 °C). DIF (verschil tussen temperatuur in lichtperiode en in donkerperiode) wordt in de praktijk gebruikt voor teeltsturing, waarbij een hoge DIF een generatieve sturing is. Tijdens de belichtingsperiode was de DIF hoger bij de behandelingen 12 H en 15 H. Dit waren de kasafdelingen waar getracht is generatiever te sturen, omdat de gewassen dit nodig hadden.

3.3 Teelt

Het tomatengewas is geteeld met wekelijkse begeleiding van 1 of meerdere teeltbegeleiders. Elke week ontvingen zij gerealiseerde klimaatdata, gewaswaarnemingen en analyseresultaten van het matwater (BLGG). Op basis van deze informatie en de stand van het gewas werd de teeltstrategie bepaald. Er is gestuurd op een generatief gewas waarbij de koppen 'donker en getrokken' de nacht ingaan en 's morgens weer 'blond' staan. Over het algemeen is

het gewas iets voorzichtiger geteeld dan in de praktijk. Van ieder bezoek met een teeltbegeleider en van elke bijeenkomst met de projectgroep is een verslag gemaakt (één verslag is als voorbeeld toegevoegd in Bijlage III).

De teeltbegeleiders waren over het algemeen tevreden over het mooie blad en over de stand van het gewas. Ze vonden de gewassen in behandelingen 18 H en 18 L er over het algemeen generatiever en beter bij staan dan de gewassen in de andere 2 behandelingen. De vruchten werden in deze kasafdelingen 'beter mee genomen'. Er is virus-vrij geteeld.

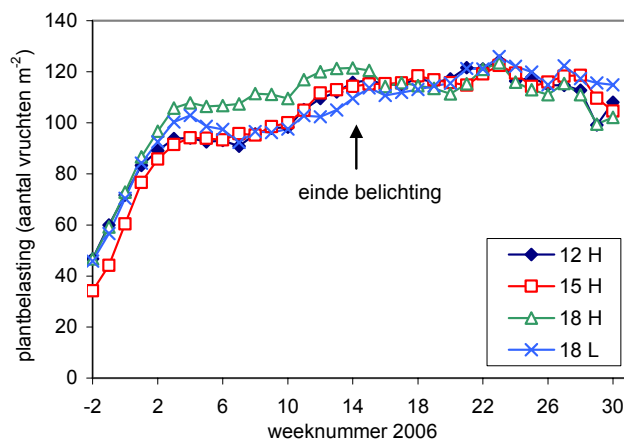
'Zwarte koppen', waarbij de koppen hard en stug staan en de nerven paars gekleurd zijn, zijn gedurende de teelt niet waargenomen.

In de winter zijn in alle kasafdelingen een aantal trossen geogst met wankleurige vruchten. In de praktijk kwam dit in ongeveer dezelfde mate voor. Op 2 momenten in de teelt werd witte vlieg onvoldoende bestreden door de biologische bestrijders en was chemische bestrijding noodzakelijk (Admiral, Previcur). Enkele planten hadden botrytis-plekjes op de stengels; deze werden behandeld met wondafdekmiddel. Eind juli vielen in elke afdeling planten uit door ziekte. Uit onderzoek bleek dat dit een infectie was met *Fusarium oxysporum*. De laatste destructieve oogst is vervolgens vervroegd en het gewas is 1 week eerder geruimd dan gepland om verdere besmetting te voorkomen. Productiedata worden gebruikt tot en met week 30 (30 juli 2006).

3.4 Gewaswaarnemingen

Gewaswaarnemingen werden gebruikt voor teeltsturing. Een voorbeeld van de waarnemingen die zijn uitgevoerd in kasafdeling 1 (12 H) staan in Bijlage IV.

In Figuur 3.2 is de plantbelasting gedurende de teelt weergegeven. In de eerste weken was de plantbelasting in de kas met 15 uur belichting lager dan in de andere kassen. Oorzaak hiervan was dat de eerste tros in deze kasafdeling slechter zette dan in de andere kassen. Dit was geen gevolg van de belichtingsbehandeling, want dat was al opgetreden voor de belichtingsbehandelingen waren gestart.



Figuur 3.2. Plantbelasting (totaal aantal vruchten per plant, omgerekend naar m² kas) van de gewassen in de 4 kasafdelingen.

Tussen week 3 en week 14 was de plantbelasting het hoogst in de behandeling 18 H. Na de belichtingsperiode is de plantbelasting in alle kasafdelingen nagenoeg gelijk.

Van 10 planten in elke kasafdeling is de vruchtontwikkeling gevolgd; de resultaten staan in Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Vruchtontwikkeling van de trossen in de 4 kasafdelingen (gemiddeld \pm SE).

Periode	Week	Behandeling	Aantal gezette trossen	Uitgroeiduur ¹⁾ (dagen)	Drogestof (%)
Belichtingsperiode + 6 weken daarna	42-20	12 H	22.7 \pm 0.2	62.9 \pm 0.8	3.91 \pm 0.04
		15 H	23.4 \pm 0.2	62.1 \pm 0.7	3.97 \pm 0.04
		18 H	22.9 \pm 0.2	65.1 \pm 0.8	4.05 \pm 0.04
		18 L	21.8 \pm 0.4	67.9 \pm 0.7	3.89 \pm 0.04
Na belichten	21-30	12 H	31.0 \pm 0.2	62.1 \pm 0.9	4.00 \pm 0.07
		15 H	30.9 \pm 0.4	63.2 \pm 1.1	4.00 \pm 0.06
		18 H	31.4 \pm 0.1	62.2 \pm 1.0	4.17 \pm 0.04
		18 L	29.9 \pm 0.4	63.1 \pm 1.5	4.00 \pm 0.05

¹⁾ Uitgroeiduur en drogestofpercentage van de vruchten is bepaald voor trossen 2, 4, 7 en 11 (belichtingsperiode) en voor trossen 17 en 21 (na belichten).

Het gewas dat 18 uur werd belicht met lage lichtintensiteit heeft gemiddeld 1 tros minder dan de gewassen in de andere afdelingen in de belichtingsperiode, maar ook nog aan het einde van de teelt.

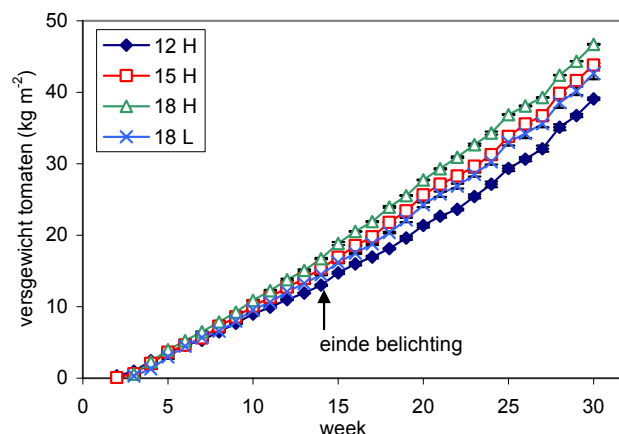
De uitgroeiduur (periode van zetting tot oogst) van trossen 2, 4, 7 en 11 is in de 18 L behandeling het langst (67.9 dagen), gevolgd door 18 H (65.1 dagen) en het kortst in de behandelingen 12 H (62.9 dagen) en 15 H (62.1 dagen). Tot week 20 (belichtingsperiode en 6 weken daarna) is het verschil in uitgroeiduur dus bijna 6 dagen tussen de behandelingen. In de periode na belichten is de uitgroeiduur gemiddeld 63 dagen en is het verschil tussen de behandelingen in uitgroeiduur nagenoeg weg (1 dag).

3.5 Productie en groei

3.5.1 Productie

Twee keer in de week werden de rijpe trossen geoogst, gewogen en geteld. In Figuur 3.3 staat het cumulatief versgewicht van de geoogste trossen per m² kasoppervlak. De eerste rijpe trossen werden geoogst in week 2 (12 januari 2006) in de kasafdelingen die 12 en 15 uur werden belicht. In de kasafdelingen met 18 uur belichting werden de eerste trossen 4 dagen later geplukt (week 3). In de figuur is te zien dat de 4 lijnen uit elkaar lopen. De totale cumulatieve productie aan het einde van de teelt was het hoogst in de kasafdeling die 18 uur was belicht met hoge lichtintensiteit (46.7 kg m⁻²) en het laagst in de kasafdeling die 12 uur werd belicht (39.1 kg m⁻²). De productie in de kasafdeling die 15 uur werd belicht was 43.8 kg m⁻², en de afdeling met dezelfde lichtsom (18 uur belicht met lage lichtintensiteit) was iets lager en bedroeg 42.7 kg m⁻² (Tabel 3.6).

Ook gedurende belichtingsperiode was de productie in de afdeling met 18 uur belichting met 16.7 kg m⁻² het hoogst en 3.7 kg m⁻² hoger (29% hoger) dan 12 uur belichten. De productie van de andere 2 kasafdelingen ligt ertussen met 15.3 kg m⁻² (15 uur, hoog) en 14.5 kg m⁻² (18 uur, laag). Deze productieverschillen blijven bestaan tot gemiddeld week 20 (6 weken na stoppen van belichting). Maar ook na week 20 zijn er nog geringe productieverschillen tussen de behandelingen.

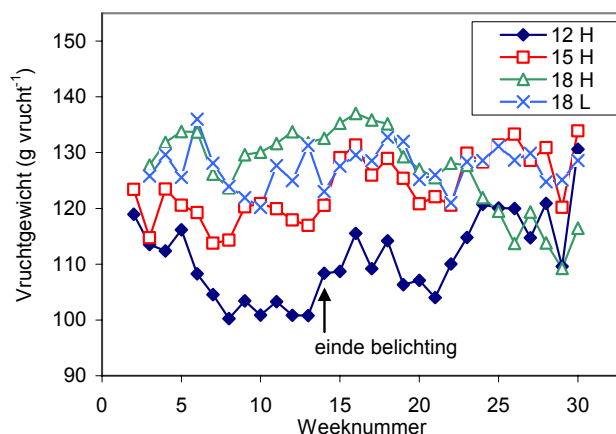


Figuur 3.3. Cumulatief versgewicht geogste tomaten gedurende de teelt met standaardfout.

Tabel 3.6. Productie geogste tomaten (kg m^{-2} versgewicht) in verschillende perioden van de teelt en de relatieve productie ten opzichte van de behandeling die 12 uur belicht is.

Periode	Behandeling	Cumulatieve productie tomaten (kg m^{-2})	Relatieve productie (%)
Belichtingsperiode (t/m week 14)	12 H	13.0	100.0
	15 H	15.3	117.7
	18 H	16.7	128.5
	18 L	14.5	111.1
Belichtingsperiode + 6 weken daarna (t/m week 20)	12 H	21.4	100.0
	15 H	25.6	120.0
	18 H	27.7	129.8
	18 L	24.3	113.6
Totale teelt (t/m week 30)	12 H	39.1	100.0
	15 H	43.8	112.1
	18 H	46.7	119.5
	18 L	42.7	109.1

In Figuur 3.4 is het gemiddelde vruchtgewicht per week weergegeven gedurende de teelt. Het vruchtgewicht van het gewas dat 18 uur belicht is met hoge lichtintensiteit is de eerste helft van de teelt het hoogst (gemiddeld 131 g tot met week 20, Tabel 3.5). Op het moment dat de invloed van de belichting geen rol meer speelt daalt bij deze belichtingsbehandeling het vruchtgewicht en is gemiddeld in deze periode 120 g (Tabel 3.7). Het gemiddelde vruchtgewicht van het gewas dat 12 uur belicht werd is duidelijk het laagst en bedraagt tot en met week 20 108 g en in de periode na belichten neemt het vruchtgewicht geleidelijk toe en bedraagt dan gemiddeld 117 g. De gewassen die 15 uur werden belicht en 18 uur met lage lichtintensiteit hebben een meer stabiel vruchtgewicht gedurende de teelt. Over de hele teelt bedragen de vruchtgewichten gemiddeld 124 g (15 H) en 127 g (18 L).



Figuur 3.4. Gemiddeld vruchtgewicht (g vrucht⁻¹) per week.

Tabel 3.7. Gemiddeld vruchtgewicht (g vrucht⁻¹) en standaardfout in verschillende perioden van de teelt bij de 4 kasafdelingen.

Periode	Week	12 H	15 H	18 H	18 L
Belichtingsperiode + 6 weken daarna	42 - 20	108.0 ± 1.0	121.4 ± 1.0	131.4 ± 0.8	127.4 ± 0.8
Na belichting	21 - 30	116.6 ± 1.7	127.9 ± 1.4	119.5 ± 1.5	127.2 ± 1.1
Totale Teelt	42 - 30	111.0 ± 1.0	123.7 ± 0.9	127.2 ± 1.1	127.4 ± 0.6

De productie wordt bepaald door het gewicht van de vruchten en door het aantal geoogste vruchten. De hoogste productie van de behandeling die 18 uur werd belicht met hoge lichtintensiteit kan gedeeltelijk worden verklaard door het hogere vruchtgewicht. Het aantal geplukte trossen en vruchten was in deze behandeling ook het hoogst (Tabellen 3.8 en 3.9). Het aantal vruchten per tros was nagenoeg gelijk tussen de behandelingen en gedurende de teelt en bedroeg gemiddeld 4.7 vruchten per tros. Trossen werden gesnoeid op 5 vruchten per tros, maar er zijn ook trossen geoogst met minder dan 5 vruchten per tros.

Tabel 3.8. Aantal geoogste trossen per m² tijdens verschillende perioden van de teelt bij de 4 kasafdelingen.

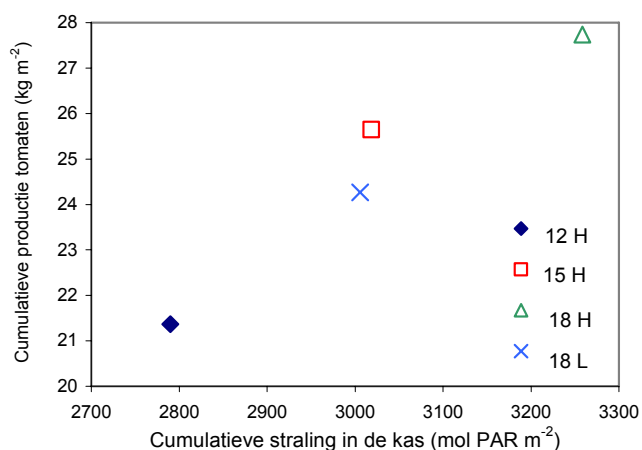
Periode	Week	12 H	15 H	18 H	18 L
Belichtingsperiode + 6 weken daarna	42 - 20	43.6	45.4	44.9	40.6
Na belichting	21 - 30	33.0	30.8	34.1	30.6
Totale Teelt	42 - 30	76.6	76.2	79.0	71.1

Tabel 3.9. Aantal geoogste vruchten per m² tijdens verschillende perioden van de teelt bij de 4 kasafdelingen.

Periode	Week	12 H	15 H	18 H	18 L
Belichtingsperiode + 6 weken daarna	42 - 20	199	211	211	191
Na belichting	21 - 30	150	142	160	145
Totale Teelt	42 - 30	349	353	371	336

In de afdeling met 18 uur belichting met lage lichtintensiteit werden de minste trossen geplukt; 8 trossen minder per m^2 dan in de afdeling met 18 uur belichting met hoge lichtintensiteit. De stengeldichtheid werd gedurende de teelt verhoogd van 2.5 naar 2.9 naar 3.3 stengel m^2 . Met een gemiddelde stengeldichtheid van 3 stengels per m^2 hebben de planten in 18 uur belichting met hoge intensiteit dus ongeveer 2.5 trossen per stengel meer dan in de afdeling met 18 uur belichten met lage intensiteit. Uit de gewaswaarnemingen bleek dat het verschil in laatst gezette tros tussen deze 2 behandelingen 1.5 tros stengel¹ was en geen 2.5 trossen. Een mogelijke oorzaak is dat 10 waarnemingsplanten in een kas niet representatief is voor de hele kas en daarmee dus onvoldoende was.

In Figuur 3.5 is de cumulatieve productie weergegeven van de 4 behandelingen tegen de hoeveelheid licht in de kas (zon en lamplicht) over de periode van planten tot 6 weken na het einde van de belichting (week 20).



Figuur 3.5. Cumulatieve productie (kg versgewicht tomaten m^2) uitgezet tegen de cumulatieve straling in de kas (zon en lamplicht) over de periode van planten tot 6 weken na het einde van de belichting (week 42 - week 20).

Verhoging van de belichtingsduur van 12 uur naar 15 uur heeft een productieverhoging tot gevolg van 4.2 kg (20%). Verhoging van de belichtingsduur van 15 uur naar 18 uur heeft een productieverhoging tot gevolg van 2.1 kg (8%). Verlenging van belichtingsduur van 15 uur naar 18 uur is dus minder efficiënt dan 3 uur verlenging van de belichtingsduur van 12 naar 15 uur.

Uit Figuur 3.5 blijkt dat 15 uur belichten met hoge lichtintensiteit meer efficiënt is dan 18 uur belichten met lage lichtintensiteit. De lichtsom was nagenoeg gelijk tussen deze behandelingen, maar de productie is bij de behandeling die 15 uur werd belicht met hoge lichtintensiteit 1.3 kg m^2 (5%) hoger.

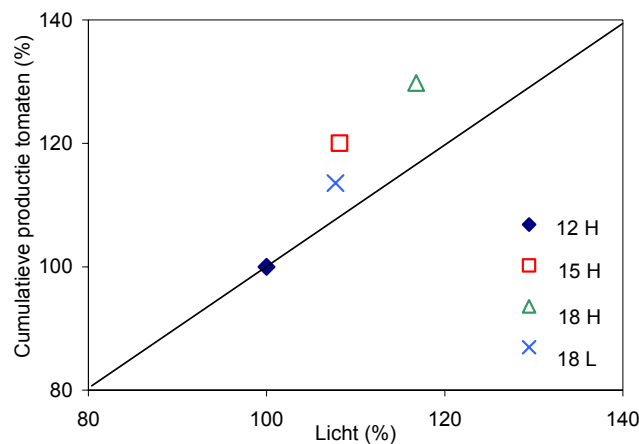
De cumulatieve productie kan uitgerekend worden per eenheid licht in de kas (lamp + zon). Op deze manier wordt uitgedrukt hoe efficiënt licht gebruikt wordt en leidt tot productie van tomaten. Dit wordt uitgerekend voor de belichtingsperiode en 6 weken daarna (omdat in deze periode het effect van de belichting nog te meten is op de productie) en voor de totale teelt.

Tabel 3.10. Cumulatieve productie per eenheid licht (g tomaten mol^{-1} PAR) in verschillende perioden van de teelt bij de 4 behandelingen

Periode	Week	12 H	15 H	18 H	18 L
Belichtingsperiode + 6 weken daarna	42 - 20	7.7	8.5	8.5	8.1
Totale teelt	42 - 30	8.3	8.9	9.0	8.7

Uit Tabel 3.10 blijkt dat de stralingsefficiëntie het hoogst is bij de behandelingen die belicht zijn gedurende 15 en 18 uur met hoge lichtintensiteit.

Een andere manier om de relatie uit te drukken tussen productie en straling is om de behandeling die 12 uur belicht is te gebruiken als referentie. De cumulatieve productie tomaten wordt op 100% gezet van deze behandeling (12 H) en de hoeveelheid licht in de kas wordt ook op 100% gezet. De cumulatieve productie en de hoeveelheid licht in de kas van de andere behandelingen wordt uitgedrukt als percentage van de behandeling die 12 uur belicht is. In Figuur 3.6 zijn de 4 punten aangegeven. De diagonale lijn in de figuur geeft de relatie aan als 1% meer licht leidt tot 1% meer productie. In de figuur is te zien dat de 3 punten van de 3 behandelingen links van deze diagonale lijn liggen. Dat betekent dat extra licht een meerproductie tot gevolg heeft. Hoe hoger het punt van de lijn ligt hoe efficiënter het licht gebruikt is voor productie.

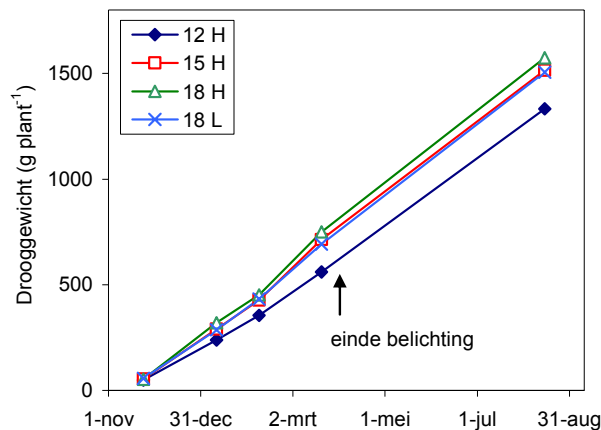


Figuur 3.6. Cumulatieve productie als % van de behandeling die 12 uur is belicht, uitgezet tegen de totale hoeveelheid licht in de kas (zon en lamplicht) ook uitgedrukt als % van de behandeling die 12 uur is belicht. Periode tot en met week 20 (belichtingsperiode en 6 weken daarna).

3.5.2 Groei

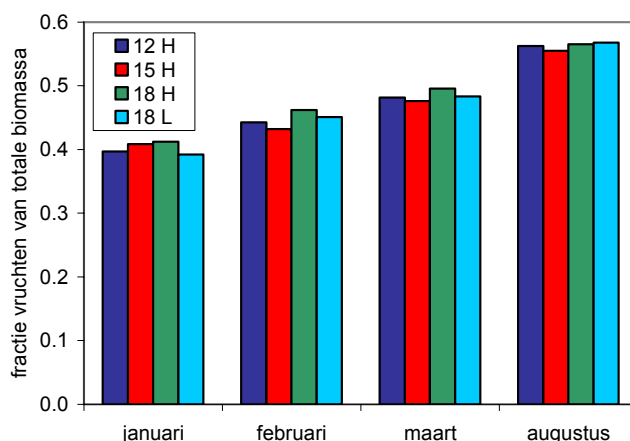
Op 5 momenten zijn planten destructief geoogst en zijn de vers- en drooggewichten van de verschillende organen gemeten en is de bladoppervlakte gemeten. In Bijlage V is een deel van deze resultaten gepresenteerd.

Het gemiddelde drooggewicht van de planten in de kasafdeling met 12 uur belichting is duidelijk het laagst bij alle oogsten. In Figuur 3.7 is de totale biomassa per plant weergegeven gebaseerd op de destructieve oogsten inclusief geoogste trossen en geplukt blad. Wortels zijn niet meegerekend. De planten die 12 uur zijn belicht hebben ook in totaliteit minder biomassa geproduceerd dan de planten in de andere afdelingen.



Figuur 3.7. Totale biomassa per plant inclusief geogste trossen en geplukt blad.

In Figuur 3.8 is de fractie vruchten weergegeven (bloemen en trossen aan de plant en geogste trossen) van de totale biomassa van de plant (inclusief geplukt blad) op 4 momenten gedurende de teelt. Het is een maat voor de generativiteit van het gewas.



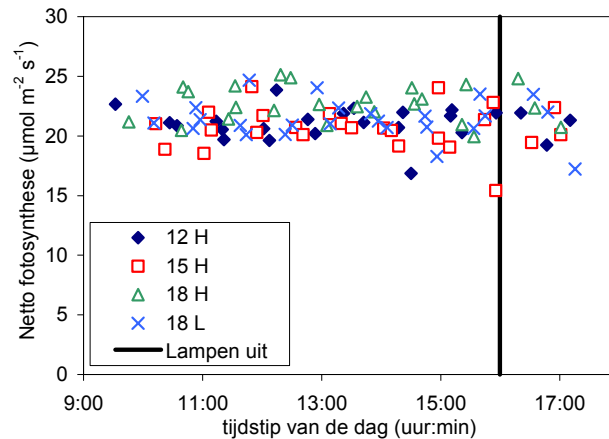
Figuur 3.8. Fractie vruchten (bloemen en trossen) van de totale biomassa op basis van drooggewicht.

De fractie vruchten neemt toe gedurende de teelt; er worden gedurende de teelt dus relatief meer trossen aangeemaakt dan vegetatieve organen (uitgedrukt in drogestof). Opvallend is dat er tussen de behandelingen nauwelijks verschillen zijn in de fractie vruchten van de totale biomassa. Belichting heeft dus niet de verhouding veranderd tussen generatieve delen en vegetatieve delen (uitgedrukt in drogestof).

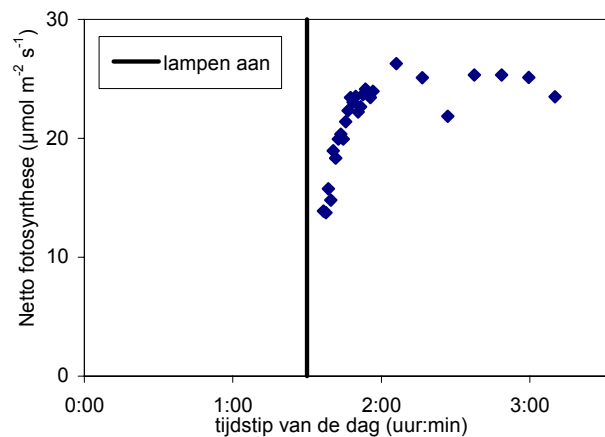
De 'specific leaf area' (SLA = bladoppervlakte per g drooggewicht) is in januari, februari en maart het hoogst is de afdeling die het minst belicht is (12 H). Het is bekend dat bladeren dunner worden bij minder licht.

3.6 Fotosynthesecapaciteit

Op 4 momenten tijdens de teelt (december, januari, februari en juli) is de fotosynthesecapaciteit gemeten in alle kasafdelingen bij $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Een volgroeid blad in de kop van het gewas (zesde of zevende blad) werd in een bladkamer gebracht met ingestelde klimaatcondities en de netto fotosynthese werd gemeten. In Figuur 3.9 is de netto fotosynthese weergegeven van metingen uitgevoerd in december.



Figuur 3.9. Netto fotosynthese ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) van het zesde of zevende tomatenblad ingeklemd in een bladkamer met ingestelde klimaatcondities ($465 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR op het blad, 700 ppm CO_2 , $21 \text{ }^\circ\text{C}$).



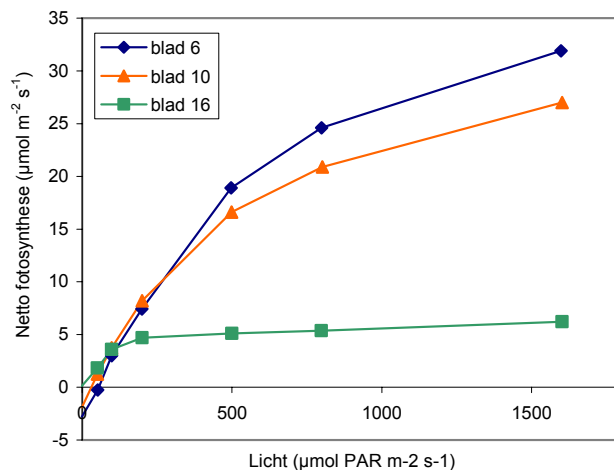
Figuur 3.10. Netto fotosynthese ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) van het zesde of zevende tomatenblad ingeklemd in een bladkamer met ingestelde klimaatcondities ($465 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR op het blad, 700 ppm CO_2 , $21 \text{ }^\circ\text{C}$) op het moment dat de lampen gaan branden.

Alle punten in Figuur 3.9 zijn metingen aan andere planten. De variatie wordt dus onder andere veroorzaakt door variatie tussen planten. Het verloop van de fotosynthese-capaciteit is redelijk stabiel tussen 9:00 uur en 16:00 uur. Dat betekent dat een blad bij bepaalde klimaatcondities eenzelfde hoeveelheid CO_2 opneemt en gebruikt voor fotosynthese in alle afdelingen en op verschillende tijdstippen van de dag. In Figuur 3.10 is te zien dat bij het aanschakelen van de groeilicht het ongeveer 25 minuten duurt tot het blad een stabiel fotosyntheseniveau heeft bereikt dat de rest van de dag blijft gehandhaafd.

Metingen uitgevoerd in januari en februari gaven hetzelfde beeld als metingen in december (figuren niet gepresenteerd). In juli is opnieuw de fotosynthese-capaciteit gemeten in alle kasafdelingen. De fotosynthese-capaciteit was gelijk in alle kasafdelingen.

Lichtresponscurven

Op 3 hoogten in het gewas zijn lichtresponscurven gemeten. In Figuur 3.11 is de netto fotosynthese weergegeven van blad 6, 10 en blad 16 (geteld vanaf de top) bij verschillende lichtniveaus in de kasafdeling met 18 uur belichting met hoge lichtintensiteit.

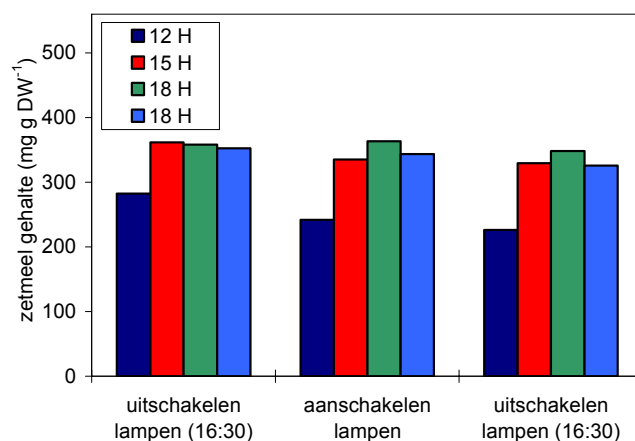


Figuur 3.11. Lichtresponscurve van 3 tomatenbladeren bij 700 ppm CO₂ in de bladkamer in de kasafdeling met 18 uur belichting met hoge lichtintensiteit.

De maximale netto fotosynthese gemeten bij 1600 $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in de bladkamer is verschillend voor de meethoogte in het gewas. Blad 6 of 7 heeft een maximale fotosynthese variërend tussen 23 en 32 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Bij blad 10 varieert de maximale netto fotosynthese tussen 22 en 29 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Onderin het gewas ligt de lichtresponscurve op een lager niveau en is de maximale netto fotosynthese 6 tot 14 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Onderin het gewas treedt bij een lager lichtniveau verzadiging op van de fotosynthese.

3.7 Zetmeel

In december en januari zijn monsters genomen van het zesde blad geteld van boven en van deze mengmonsters is het zetmeelgehalte bepaald. In Figuur 3.12 zijn de zetmeelgehaltenes weergegeven van metingen op 24 en 25 januari 2006 op het moment dat de lampen uitschakelden, weer aangingen en weer uitschakelden.

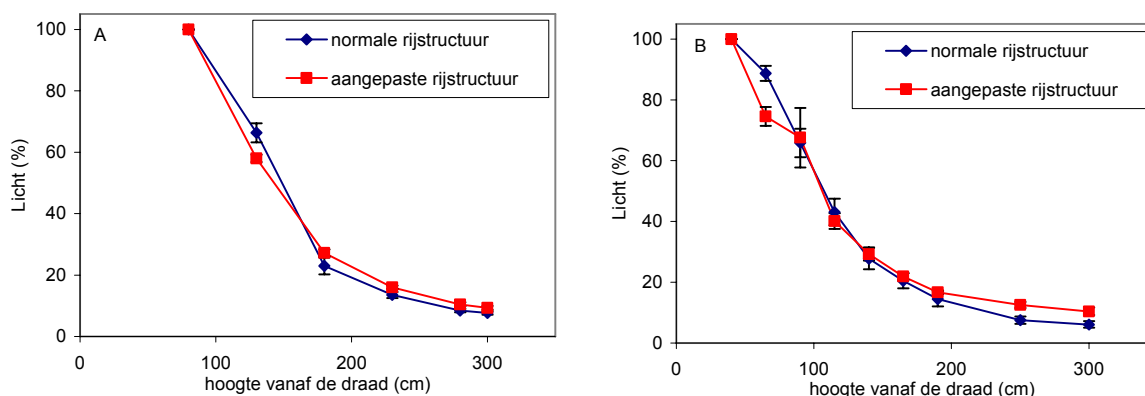


Figuur 3.12. Zetmeelgehalte (mg g DW^{-1}) in het zesde tomatenblad, geteld van boven op 24 en 25 januari 2006.

Opvallend is dat bladeren die 12 uur belicht worden op alle momenten van monsternamen een lager zetmeelgehalte hebben dan bladeren van de andere 3 behandelingen. Zetmeelgehaltenes zijn redelijk gelijk aan het einde van een donkerperiode en aan het einde van de lichtperiode.

3.8 Lichtdoordringing

Op 2 en 15 februari 2006 is de lichtdoordringing gemeten in het gewas in normale plantbedden en in het plantbed met een aangepaste rijstructuur (gewasdraden dicht bij elkaar en daardoor breder pad). Het lichtniveau is op verschillende hoogtes in het gewas gemeten. De hoeveelheid licht gemeten net boven het gewas is 100%. Vervolgens is de hoeveelheid licht die gemeten is op verschillende hoogtes in het gewas uitgedrukt als percentage van de hoeveelheid licht net boven het gewas. Op deze manier is de lichtdoordringing in het gewas te berekenen (Figuur 3.13).



Figuur 3.13. Lichtdoordringing in normale plantbedden en in een plantbed met een aangepaste rijstructuur gemeten op 2 februari (A) en op 15 februari (B).

Op 2 februari had het gewas een hoogte van 2.60 m en op 15 februari van 3 meter boven de vloer. De gewasdraad hing op 3.40 m. Bovenin het gewas is de lichtdoordringing hoger in het plantbed met de aangepaste rijstructuur waardoor er relatief iets meer licht op de onderste bladeren valt bij deze rijstructuur. De totale lichtonderschepping is met 90% lager dan de totale lichtonderschepping bij de normale plantbedden (93%).

Productie

In week 3 is de rijstructuur aangepast van 1 plantbed in de kasafdeling met 18 uur belichting met hoge lichtintensiteit. De productie van dit plantbed is vergeleken met de productie van de andere plantbedden in deze kasafdeling vanaf week 7. De productie van de normale plantbedden is hoger dan de productie van het plantbed met een aangepaste rijstructuur (Tabel 3.11) zowel in de periode dat er invloed is van de belichting als in de periode daarna.

Tabel 3.11. Productie (kg m^{-2}) normale rijstructuur en aangepaste rijstructuur in de kasafdeling 18 H. Rijstructuur is aangepast in week 3.

Periode	Week	Normale rijstructuur	Aangepaste rijstructuur
Belichtingsperiode + 6 weken daarna	7 - 20	21.3	19.9
Na belichting	21 - 30	19.0	16.4

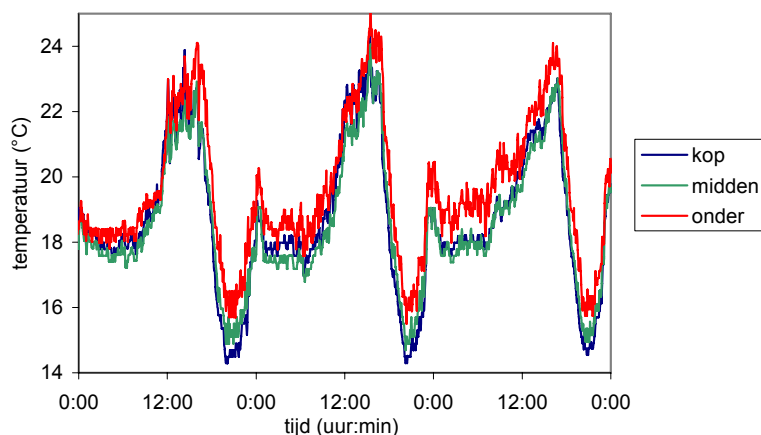
3.9 Temperatuur

Groeilicht geeft naast licht ook warmte, waardoor de koppen van het gewas verwarmd worden. Afhankelijk van de setpoint van de kasluchttemperatuur wordt deze warmte afgelucht (ramen open), of wordt gebruikt om de kas te verwarmen. In dit laatste geval leveren de buizen (onderin de kas) minder warmte. Op deze manier kan een

temperatuurgradiënt in het gewas ontstaan, waarbij de kasluchttemperatuur bij de koppen van het gewas hoger is dan bij de afrijpende trossen.

In elke kasafdeling is rond 1 plantbed een extra verwarmingsbuis aangebracht die 40°C was gedurende de lichtperiode met als doel meer warmte onderin het gewas te brengen en de eventuele temperatuurgradiënt te verkleinen. De kasluchttemperatuur is op 3 hoogtes in het gewas gemeten: bij de kop van het gewas, bij de afrijpende tros en midden tussen 2 posities.

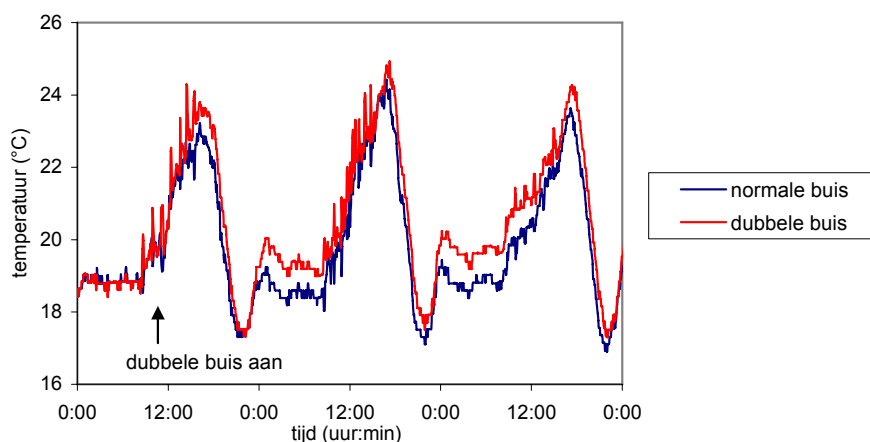
In Figuur 3.14 is het dagpatroon van de kasluchttemperatuur op 3 hoogtes van het gewas te zien in plantbedden zonder dubbele buis. De kasluchttemperatuur is laag in de nacht en stijgt als de lampen gaan branden (23:00 uur). Na zonsopkomst stijgt de kasluchttemperatuur verder en daalt weer aan het einde van de dag nadat de lampen uitgeschakeld worden (17:00 uur).



Figuur 3.14. Kasluchttemperatuur gedurende 2 dagen (8 - 10 februari) gemeten op 3 hoogtes in het gewas.

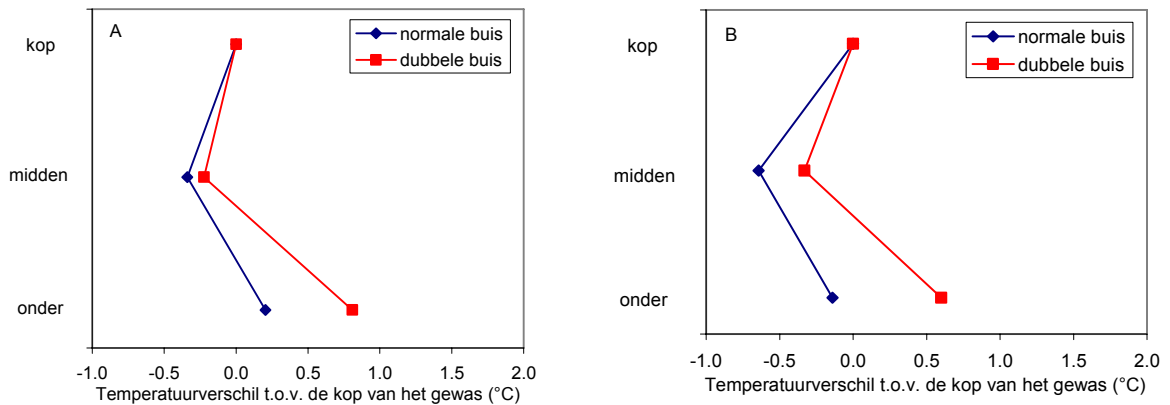
De kasluchttemperatuur bij de kop van het gewas is in de nacht lager dan in het midden en onderin het gewas (Figuur 3.14). Als de lampen aanschakelen verandert de temperatuurgradiënt en is het gewas in het midden kouder dan bij de kop (warmte van lampen) en bij de rijpende trossen (warmte van buis).

Bij het inzetten van een dubbele buis wordt er meer warmte ingebracht via de onderkant. In Figuur 3.15 is de vruchttemperatuur weergegeven welke gemeten is in vruchten die boven een normale buis hingen en vruchten die boven een dubbele buis hingen. De dubbele buis is aangezet op 8 februari en heeft gebrand gedurende de lichtperiode tot 4 mei. In Figuur 3.15 is te zien dat vóór de dubbele buis werd ingezet de vruchttemperatuur gelijk was en daarna de vruchttemperatuur hoger is van vruchten die boven de dubbele buis hangen t.o.v. die bij een normale buis hangen.



Figuur 3.15. Vruchttemperatuur gedurende 2 dagen (8 - 10 feb) gemeten in vruchten aan een rijpende tros in een plantbed met een normale buis en een plantbed met een dubbele buis

De gemiddelde temperatuurgradiënt is berekend in de periode dat de lampen branden (tussen 1:30 en 5:30) en in de periode midden op de dag (12:00 - 16:00); dat de lampen branden en er zonne-instraling is over een periode van 13 dagen in februari en begin maart. In Bijlage VI staan de gemiddelde kasluchttemperaturen op de 3 meethoogtes. In Figuur 3.16 is het verschil in temperatuur uitgezet tussen de kop, het midden en onderin het gewas t.o.v. de kop van het gewas bij een normale buis en bij een dubbele buis. Er is nauwelijks temperatuurverschil tussen de kaslucht bij de kop van het gewas en bij de onderste tros bij een normale buis. De kaslucht is bij de onderste tros zelfs 0.2°C hoger dan de kaslucht bij de kop in de periode dat alleen de lampen branden. Bij een dubbele buis wordt dit verschil groter (0.8°C) door extra warmte-inbreng via de onderkant van het gewas.

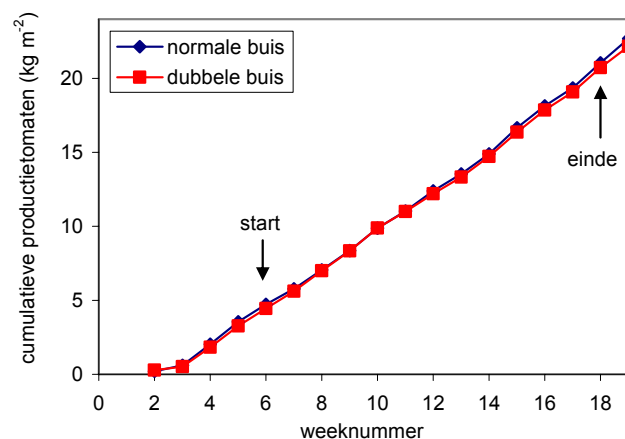


Figuur 3.16. *Temperatuurverschil van het kaslucht bij de kop, midden en onderin het gewas t.o.v. de kop van het gewas bij de rijpende trossen in de periode dat alleen de lampen branden (tussen 1:30 en 5:30 uur) (A) en tussen 12:00 en 16:00 uur bij zon- en lamplicht (B).*

In beide perioden van de dag is de kasluchttemperatuur in het midden van het gewas het laagst (zie Bijlage VI).

Productie

De productietoename tussen week 6 (start dubbele buis) en week 18 (einde dubbele buis) is bij zowel de normale plantbedden als bij de plantbedden met dubbele buis gemiddeld 16.3 kg m⁻² (Figuur 3.17).



Figuur 3.17. *Cumulatieve productie tomaten (kg m⁻²) in plantbedden met normale verwarmingsbuizen en in plantbedden waar een extra buis is aangebracht die 40°C is gedurende de lichtperiode. Data zijn gemiddelden van 4 kasafdelingen.*

Planttemperatuur

De planttemperatuur vertoont net als de kasluchttemperatuur (Figuur 3.14) een dagpatroon, waarbij de temperatuur stijgt als de lampen aanschakelen en nog verder stijgt na zonsopkomst en in de namiddag en in de nacht zakt. In Tabel 3.12 is de gemiddelde plant- en kasluchttemperatuur aangegeven in de periode tussen 30 januari en 15 maart. Hieruit blijkt dat in alle kasafdeling gemiddeld de planttemperatuur 0.4 tot 0.8°C lager is dan de kasluchttemperatuur. Dat betekent dat het gewas zich koelt door verdamping.

Tabel 3.12. Gemiddelde temperatuur van de bovenkant van het gewas en van de kaslucht in de 4 kasafdelingen, gemeten tussen 30 januari en 15 maart.

Periode van de dag	Temperatuur (°C)	12 H	15 H	18 H	18 L
Hele dag	Gewastemperatuur	18.48	18.92	18.56	18.25
	Kasluchttemperatuur	19.09	19.28	19.33	18.96
	Vershil	0.61	0.36	0.77	0.70
21:00-22:30	Gewastemperatuur	14.81	15.13	15.17	15.59
	Kasluchttemperatuur	15.57	15.79	16.13	16.59
	Vershil	0.77	0.66	0.95	1.00
8:30 - 16:30	Gewastemperatuur	21.28	21.45	20.52	20.06
	Kasluchttemperatuur	21.54	21.48	21.20	20.62
	Vershil	0.23	0.03	0.68	0.56

's Nachts in het verschil tussen plant- en kasluchttemperatuur groter. Het gewas wordt niet opgewarmd door straling, maar koelt wel af door verdamping. Tijdens de lichtperiode is ook de gemiddelde kasluchttemperatuur hoger dan de planttemperatuur. Op momenten van hoge instraling is echter de planttemperatuur hoger (tot circa 2°C), maar gemiddeld in de meetperiode tussen 30 januari en 15 maart is door de nog relatief geringe instraling en door verdamping de planttemperatuur lager in alle kasafdelingen.

3.10 Energie

In alle kasafdelingen is energie ingebracht door de belichting en door buisverwarming. Voor de periode dat de belichtingsbehandelingen nagenoeg volledig zijn toegepast (9 december 2005 t/m 14 maart 2006) is de energie-input in de 4 kasafdelingen berekend voor lampen en buis (Tabel 3.13)

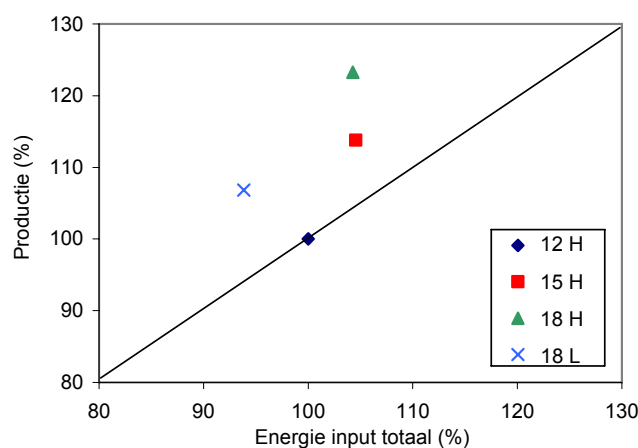
Tabel 3.13. Berekende energie-input (MJ m⁻²) in de 4 kasafdelingen voor de periode 9 december t/m 14 maart en de totale energie-input als percentage van de behandeling 12 H.

Energie (MJ m ⁻²)	12 H	15 H	18 H	18 L
Lampen	438	549	658	549
Buizen	615	552	440	439
Totaal	1053	1101	1098	988
Totaal (%)	100	105	104	94

De energie-input voor de belichting in de kasafdeling die 12 uur werd belicht is zoals verwacht het laagst en is 50% hoger in de kasafdeling die ook 50% meer belicht is (18 H). De energie-input van lampen in de 2 andere kasafde-

lingen lag hier tussen. De totale berekende energie-input (lampen en buis) was het hoogst in de kasafdeling die 15 uur werd belicht (15 H). De kasafdeling die nog 3 uur langer werd belicht met hoge lichtintensiteit (18 H) had niet meer energie-input. De laagste energie-input had de kas die 18 uur werd belicht met lage lichtintensiteit (18 L). Naast licht geven de lampen ook warmte. Afhankelijk van de setpoint van de kasluchttemperatuur kan deze warmte benut worden om de kaslucht mee te verwarmen of wordt afgelucht. Uit Tabel 3.13 blijkt dat de warmte van de lampen benut kon worden en er minder energie-input nodig was via de buizen in de kasafdelingen die langer belicht werden dan 12 uur.

In Figuur 3.18 is de productie uitgezet tegen de energie-input beide uitgedrukt als percentage van de behandeling die 12 uur werd belicht (12 H). Het betreft de periode t/m 14 maart (week 11), zowel voor de energie-input als voor de productiecijfers. De diagonale lijn geeft de relatie weer als 1% energie-input leidt tot 1% meer productie.



Figuur 3.18. De productie van tomaten uitgezet tegen totale energie-input; beide uitgedrukt als percentage van de behandeling 12 H gedurende de periode 9 december t/m 14 maart.

Uit Figuur 3.18 blijkt dat er bij langere belichtingstijden met hoge lichtintensiteit (15 H en 18 H) meer energie nodig is (105 en 104%) t.o.v. 12 H, maar de productie meer dan lineair toeneemt met de energie-input. Bij 15 H wordt er 5% meer energie verbruikt dan bij 12 H t.b.v. een productieverhoging van 18%, en bij 18 H wordt iets minder (4%) energie verbruikt om de productie te verhogen met 23% in week 11.

Tabel 3.14. Productie (kg m^{-2}) en energie efficiëntie (g MJ^{-1}) in de 4 kasafdelingen voor de periode 9 december t/m 14 maart.

	12 H	15 H	18 H	18 L
Productie (kg m^{-2})	13.0	15.3	16.7	14.5
Energie efficiëntie (g MJ^{-1})	9.4	10.3	11.2	10.7

De energie efficiëntie (hoeveelheid g geproduceerde tomaten per m^2 per MJ m^{-2} energie-input) is het hoogst bij 18 H, gevolgd door 18 L, 15 H en 12 H (Tabel 3.14). Terwijl de energie efficiëntie bij 18 L hoger ligt dan bij 15 H (10.7 resp. 10.3 g MJ^{-1}), het gewas geteelt bij 15 H produceerde 6.6% meer tomaten. Telen met een nagenoeg gelijke lichtsom geeft tuinders een keus tussen energie efficiënter telen of meer productie tegen hogere energie kosten.

4. Discussie

Een klimaatproef met licht als uitgangspunt

Bij het opzetten en uitvoeren van het experiment, werd getracht in iedere behandeling een gewas neer te zetten dat de praktijk benadert. Dat is gelukt, maar om dat te realiseren terwijl 'belichting' als een constante klimaatfactor werd gehandhaafd, moest de teelt gestuurd worden middels een aantal andere klimatologische factoren. De gevolgen hiervan zijn verschillen (veelal kleine) in temperatuur, luchtvochtigheid en CO₂ tussen de behandelingen. De factor licht is dus bepalend geweest voor de teelt. Net zoals in de praktijk is er vooral generatief gestuurd. De behandelingen van 18 H en 18 L waren inderdaad iets generatiever dan de andere 2 behandelingen, en de vruchten werden 'beter meegenomen'.

Er waren een aantal verschillen te noemen met de praktijk.

- *Er is virusvrij geteeld.* Bij de meest telers tegenwoordig is het Pepino-mozaik virus aanwezig in de kas. In dit experiment is Pepino niet waargenomen in regelmatig genomen laboratorium tests, tot en met het eind oogst toe.
- *Gematigd geteeld.* Er is er niet op het scherpste van de snede geteelt. Setpoint aanpassingen vonden gemiddeld één keer per week plaats. Deze factoren hebben kunnen leiden tot het uitblijven van het verschijnsel 'zwarte koppen' in dit experiment.
- *Laag hangende trossen.* Vanwege de laaghangende goten, hingen de afrijpende trossen dichterbij de grond. Mede door de aanwezigheid van een betonnen vloer in de kas was het relatief warm in de kas.

Tot voor kort werd algemeen verondersteld dat een toename in belichtingsduur zou moeten leiden tot een verhoging van de gewasfotosynthese (Fukuda *et al.*, 2004), plant groei en ontwikkeling en opbrengst (Dorais & Gosselin, 2002; McCall, 1992). Uitgangspunt bij dit experiment was dat 'licht' de enige variabele zou zijn, en dat een langere belichtingsduur tot een verhoging van fotosynthese en opbrengst. Bij het starten van het experiment echter, bleek uit overleg met de teeltbegeleiders dat streven om licht als enige variabele te hanteren niet reëel was. Ieder lichtregiem vraagt andere instellingen van de klimaatfactoren om optimaal te telen. Vooral in het begin van het experiment werd getracht veranderingen in teeltmaatregelen gelijktijdig aan te brengen. Gebleken is, dat het gelijktijdig inzetten van sommige maatregelen niet zonder gevolgen toegepast kon worden. Immers, het aanhouden van een extra stengel vroeg in januari was niet mogelijk in de 12 H behandeling, in de overige behandelingen wel. Het gewas was op dat moment nog niet sterk genoeg om een extra stengel te dragen en teveel energie/assimilaten werden opgeëist voor vegetatieve groei, met als gevolg een sterk afname in het individueel vrucht gewicht.

Het effect van langdurig belichten met de hoogste intensiteit (18 H) op het kasklimaat moet ook genoemd worden. In deze behandeling werd veel meer warmte (boven) in het gewas gehouden, met een nivellering van de verticale temperatuur verschillen als gevolg. Dit betekende dat er minder warmte onderin de kas moest worden ingebracht en dat de kop van het gewas warmer is gebleven. Doordat er meer warmte bovenin de kas kwam bij 18 H, en omdat de winter de koudste was in de afgelopen 5 jaren (Anon., 2006), hoefde er minder afgelucht te worden. Hierdoor kon de warmte van de lampen beter benut worden in de kas en kon de CO₂ concentratie in de kas gemakkelijker op peil worden gehouden. Bij de kortere belichting werd meer warmte onderin in de kas gebracht door de verwarmingsbuizen, en met de vruchten relatief dicht bij de verwarmingsbuizen heeft dat geleid tot een versnelde afrijping van de vruchten.

Meer licht betekent meer productie

Voor het effect van belichting op de groei en productie van tomaten wordt rekening gehouden niet alleen met de belichtingsperiode (t/m week 14), maar ook met de daarop volgende periode van 6 weken. In deze 6 weken hebben de vruchten die tijdens de belichtingsperiode zijn gezet, zich ontwikkeld, gevuld en zijn verder afgerijpt. Tijdens de belichtingsperiode werd er meer tomaten geproduceerd bij meer licht, heeft zich voortgezet niet alleen in de periode

van 6 weken nadat de lampen zijn uitgezet, maar tot ver in de zomer. Deze onverwachte respons op belichting in de winter kan aangeduid worden als een 'carry-over' effect van de belichting.

In tuinderskringen wordt gesproken over het uitputten van het gewas dat zou plaatsvinden bij een cumulatieve straling van 320.000 J cm⁻². Deze hoeveelheid straling werd bereikt op 13 juli 2006 voor de behandeling met de hoogste lichtsom (18 H), 1 week later werd dit bereikt voor 15 H en 18 L (20 juli) en 2 weken later voor de behandeling met de laagste lichtsom (12 H op 27 juli). Op dat moment waren geen verschillen te zien aan het gewas tussen de behandelingen. Mogelijk waren later in de teelt wel verschillen te zien in vitaliteit van het gewas, maar de proef is beëindigd (half augustus) voor het teeltseizoen van een belichte tomatenteelt voorbij was (begin oktober).

Tijdens de belichting is het aandeel aan PAR-licht door de lampen in de kas groot geweest, variërend van 49% (12 H) tot 59% (18 H). De belichtingen met dezelfde lichtsom (15 H en 18 L) leverde 12% meer licht op (lampen en zonlicht) dan de behandeling van 12 H, terwijl de 18 H behandelingen resulteerde in 25% meer licht. Deze hogere lichtevoelheden hebben geleid tot een zwaardere gewas met meer vegetatieve biomassa. Met name bij 18 H is gebleken dat er dan ook een hogere plantbelasting mogelijk was, met een gemiddelde vruchtgewicht van 131 g waarvan 4.05% droogstof. De bladeren bij langere lichtduur waren relatief dikker (lagere SLA, specifieke bladoppervlak) dan in 12 H, waardoor geconcludeerd kan worden dat in de 12 H behandeling er minder biomassa was en dus meer behoefte aan fotosynthetische oppervlak (cf. Adams & Langton, 2005). Een hogere plantbelasting leidt tot een afname in vrucht grootte (De Koning 1989), waarschijnlijk door concurrentie tussen vruchten om assimilaten. Zowel de vruchtgewichten als het drogestof gehalte van de 15 H en 12 H behandelingen waren minder dan bij 18 H, resp. 121 en 108 g en 3.97% en 3.91%. Volgens Adams *et al.* (2001) leidt een verhoging van de hoeveelheid licht tot een toename in de vruchtgrootte en in het aantal vruchten. In dit experiment werden de trossen allemaal op 5 vruchten gesnoeid, maar de vruchtgrootte nam inderdaad toe met toenemende licht.

De verschillen in de verhouding generatieve/vegetatieve delen tussen de behandelingen zijn klein gebleven gedurende het experiment. Het effect van de belichting heeft zich beperkt tot de vruchtgroei en niet in het aantal trossen. De Koning (1989) heeft laten zien dat tros aantal temperatuur gestuurd is. De behandeling 18 H produceerde gemiddeld 1 tros minder dan 15 H en 1 tros meer dan 12 H, maar de individuele vruchtgewichten waren 4 tot 10 g hoger bij 18 H.

Ervan uitgaande dat de productie gedurende de laatste weken van het experiment (ongeveer 2 kg m⁻² per week) zich zou voortzetten tot aan het einde van de teelt, kan de jaarrond productie worden berekend. De tomaatproductie in de 18 H behandeling t/m week 30 bedroeg 46.7 kg m⁻². De teelt zou volgens de praktijk nog 10 weken duren, waarmee de jaarrond productie bij benadering op 66.7 kg m⁻² uit zou komen.

In een aantal eerdere studies werd een waargenomen afname in fotosynthese in de loop van de dag gecorreleerd aan een accumulatie van suikers, m.n. hexose, en zetmeel. Ayari *et al.* (2000) zagen een afname tijdens de dag in de fotosynthese in de winter, maar niet in het voorjaar/zomer. Demers & Gosselin (2002) maten een toename in de hexose gehalte in het blad en tegelijkertijd een daling in de fotosynthese. Zij concludeerden dat er géén meer-productie mogelijk was bij een belichtingsduur van meer dan 14 uur, en dat het toe te schrijven was aan een ophoping van suikers en zetmeel in het blad. Een té lange belichtingsduur zouden leiden tot bladchlorose, afname in fotosynthese en verminderde groei. Er was geen melding van de toegepaste lichtintensiteit waardoor een vergelijking met de observaties in deze studie moeilijk te maken is.

Wel is het zo dat de verschillen in productie lijken niet door verschillen en/of remmingen van de fotosynthese veroorzaakt te worden. De fotosynthesecapaciteit (hoeveelheid fotosynthese dat potentieel mogelijk is) van alle behandelingen verschilt niet van elkaar, alleen de lengte van de periode waarin fotosynthese mogelijk was. Bij de hogere belichtingsduur had het gewas een hogere LAI, waardoor er meer assimilaten aangemaakt konden worden en de vruchten gemakkelijker gedragen konden worden.

De productietoename van 12 H tot 15 H was 4.2 kg m⁻² (20% meer-productie), terwijl de toename van 15 H tot 18 H 2.1 kg m⁻² (8%) bedroeg. Het lijkt dus minder efficiënt om deze laatste 3 uur te belichten. Echter, omgerekend naar PAR-lichtefficiëntie, blijkt er geen verschil te zijn tussen beide behandelingen. Beide resulteerden in een PAR-lichtefficiëntie van 8.5 g tomaten per extra mol PAR licht t.o.v. dat van 12 H, terwijl het bij de 12 H behandeling maar

7.7 g mol⁻¹ was. De vegetatieve/generatieve delen waren in dezelfde verhouding als in de overige behandelingen en kennelijk kon er bij die LAI te weinig lichtenergie benut worden. Wel is gebleken dat in tegenstelling tot wat er in de praktijk gevonden is, een productie toename is wel mogelijk bij langer belichten. Mogelijk redenen hiervoor kunnen liggen in het feit dat er geen 'zwarte koppen' waargenomen werden en de afwezigheid van Pepino-mosaik virus.

Lichtintensiteit of belichtingsduur?

In Scandinavië wordt algemeen verondersteld dat een hogere lichtintensiteit, eerder dan een langere belichtingsduur, aanleiding geeft tot productieverhoging, vooral bij koude winters (Anon., 2005b). In 2 van de behandelingen (15 H en 18 L) werd onderzocht of het effect van lichtintensiteit een grotere, gelijke of kleinere effect had op de groei en productie van tomaat dan het effect van belichtingsduur. Beide behandelingen zijn zodanig gekozen dat ze zouden resulteren in dezelfde lichtsom. Er bleek toch een klein verschil in lichtsom van 0.1 mol m⁻² dag⁻¹ te zijn (Tabel 3.1) in het voordeel van de 15 H behandeling. Dit resulteerde in een berekende meer-productie bij 15 H van 95 g m⁻² als gevolg van het verschil in lichtsom. De gemeten productie t/m week 20 was 800 g m⁻², zodat het verschil niet alleen aan een verschil in lichtsom toegeschreven kan worden. Lichtintensiteit met de bijbehorende klimaat lijkt wel degelijk een positieve effect op de productie te hebben. Het gevolg hiervan is dat de stralingsefficiëntie hoger was bij 15 H dan bij 18 L (Tabel 3.8).

Waarom wordt er per mol licht meer tomaten geproduceerd door 15 H vergeleken met 18 L? De lichtsom was nagenoeg gelijk, maar de overige klimaatfactoren verschilden tussen deze behandelingen. Bij een lagere lichtintensiteit werd door Dorais *et al.* (2001) een afname in pigment synthese waargenomen dat leidde tot ongelijke kleuring van de vruchten, een vermindering van de vruchtkwaliteit. Vruchtverkleuring is een enkele keer opgetreden in het experiment maar had geen invloed op de biomassa productie. De gewassen in de afzonderlijke behandelingen zijn verschillend gestuurd als gevolg van het verschil in belichtingsregiem. De 15 H behandeling werd generatiever gestuurd bij gemiddeld 0.1°C warmer, en een iets hogere DIF (2.8 t.o. 2.2 bij 18 L), terwijl de RV en CO₂ nagenoeg gelijk zijn gebleven.

Het verschil lijkt ook niet een gevolg te zijn van verschillen in fotosynthese. Er is geen lineair verband tussen lichtintensiteit en de fotosynthese, maar begint met een sterke toename bij een lage lichtintensiteit, en eindigt met een verzadiging van de fotosynthese bij hogere intensiteiten. Licht verzadiging in een gewas is echter nog niet bereikt bij 135 of 162 μmol m⁻² s⁻¹ in de winter, zelfs niet met zonlicht erbij. Dus in dit niet-lineair traject lijkt 18 uur belichten met lage intensiteit efficiënter te zijn dan 15 uur met hoge intensiteit. Bij 18 uur wordt er nl. 3 uur extra belicht als het donker is en deze uren zijn meer rendabel dan de uren overdag met zon.

Een paar mogelijke redenen voor de gebleken voordelen van lichtintensiteit t.o.v. lichtduur kunnen genoemd worden:

- De nachtduur bij 18 L was korter, wellicht té kort (ca. 6 uur) voor een optimale teelt. Dit wordt echter tegengesproken door het feit dat ondanks dat 18 H dezelfde nachtduur heeft gehad als 18 L, er geen verschil in zetmeel accumulatie is opgetreden tussen alle 4 behandelingen.
- De teeltsturing bij 15 H is 'beter gelukt' dan bij 18 L. Beide teelten zijn rustig gestuurd, wat mogelijk beter uitpakte bij 15 H dan bij 18 L. De teelt bij 18 L was iets koeler geteelt (0.1°C), de DIF was lager (0.6°C) waardoor het wat vegetatiever geteeld werd, en de RV was 3% lager.

Vergroten van belichtingsefficiëntie

Aanpassing van de rijstructuur

Doordat veel licht in de bovenlagen van het gewas geabsorbeerd wordt, komt er minder licht in de lagere bladlagen. Hierdoor zou een deel van de extra groeilicht onbenut blijven. Er is in één behandeling getracht het licht beter te verdelen door de rijstructuur zodanig aan te passen dat licht dieper in het gewas door kan dringen. De metingen hebben uitgewezen dat er een marginaal effect van aanpassing van de rijstructuur; alleen in de onderste meter van het gewas is er meer licht (< 5%). Omdat ook de productie gemeten in deze behandeling en vergeleken met een normale rijstructuur geen voordeel opleverde, lijkt deze optie geen oplossing te kunnen bieden. Echter, bij het inzetten van de behandeling is ervoor gekozen om de koppen van het gewas dichter bij elkaar te zetten, waardoor de paden breder zijn geworden. Voortschrijdend inzicht geeft aan dat deze wijze van rijstructuur aanpassing mogelijk niet de beste methode is, maar dat in combinatie van tussenplanting (deel van het gewas langs de paden bijv. te

toppen en verwijderen na de oogst, en jonge planten ertussen zetten), het wel kan leiden tot een verbeterde lichtverdeling en verhoogde productie. Deze methodiek wordt momenteel getoetst.

Dubbele buis: bijsturing verticaal temperatuurgradiënt

Aanvankelijk werd er vanuit gegaan dat een temperatuurgradiënt, aangebracht door lampen, opgeheven zou worden middels een dubbele buis. Dit zou de assimilaten transport naar afrijpende vruchten bevorderen.

Gebleken is dat een dubbele buis de temperatuurgradiënt verandert, maar de vorm van de gradiënt (koudste deel ligt midden in het gewas) niet verandert. Juist in dit deel van het gewas groeien de vruchten het hardst voordat zij gaan afrijpen. Een dubbele buis alleen brengt meer warmte onderin het gewas, maar door het koud(er) blijven van het gewas middenin, wordt de assimilatenstroom waarschijnlijk onvoldoende gestimuleerd. Er was ook weinig verschil in productie tussen enkele of dubbele buis. Waarschijnlijk moet de luchtstroom naar boven waarmee de warmte hoger in het gewas komt, sterker in gang gezet worden.

Belichting: een verhaal van energie vs. bedrijfsvoering

Waar het om gaat bij een belichtende tomatenbedrijf, overigens net zoals ieder bedrijf, zijn de kosten van het produceren en de baten van de producten. Naast de investeringskosten, zijn de dagelijkse kosten voor energie in de vorm van warmte en licht van groot belang voor de belichtende tuinder. Hij moet natuurlijk zoveel mogelijk tomaten produceren per eenheid ingekochte energie (warmte en licht). De energie die de kas ingaat wordt bepaald door belichting en verwarming door verwarmingsbuizen. Omdat belichting gepaard gaat met afgifte van warmte door de lampen, heeft belichting een invloed op de benodigde warmtevraag in de kas via de verwarmingsbuizen. Het is dus geen verhaal van 'de kosten van de elektra voor lampen' alleen.

In een modelmatige studie hebben Marcelis *et al.* (2002) een verhoogde 'energy use efficiency' laten zien door de belichting (lichtsom) te verhogen, wat een verhoging van de productie tot gevolg heeft. Hierbij was zowel de energie van de belichting als van de verwarming bij betrokken. Hun bevindingen worden bevestigd door de resultaten van deze studie. De hoeveelheid energie die nodig bleek te zijn om tomaten te produceren bij 18 H en 15 H bleek per kilogram 4% en 5% resp. meer te kosten dan bij 12 H. De productie bij deze behandelingen, waren echter veel hoger, 14 en 23% resp. dan bij 12 H. Hiermee kunnen we concluderen dat verlenging van de belichtingsduur (van 15 naar 18 uur) de teler géén hogere uitgaven heeft voor de energie-input, terwijl de productie verhoogd wordt met 9%.

Bij een nagenoeg gelijke lichtsom (15 H en 18 L) werden verschillen in energie efficiëntie en productie geconstateerd. Bij 18 L werd efficiënt geteeld qua energie input, maar er werden 7% minder kilo's tomaten geproduceerd dan bij 15 H. Met deze wetenschap kan de tuinder een afweging maken bij de vergelijking tussen 15 H en 18 L tussen de kosten (11% meer energie input, eventueel een verschil in investering in lampen en vermogen van WKK) en de baten (7% meer productie én 3 uur meer tijd om elektriciteit terug te leveren aan het net). De vraag is natuurlijk wat de teler ervoor extra krijgt als hij in die 3 extra uren elektriciteit teruglevert aan het net, en optelt bij zijn baten aan productie. De keus om langer te belichten wordt een financieel kwestie.

5. Conclusies

De volgende conclusies kunnen worden getrokken uit de resultaten van deze studie:

Productie

De hoogste productie werd bereikt bij een belichtingsduur van 18 uur met hoge lichtintensiteit ($162 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). De productie is bij deze behandeling hoger dan de overige behandelingen in de belichtingsperiode (winter periode) en nog circa 6 weken later. Daarna bleef de productie na deze behandeling in de zomer iets hoger dan de overige behandelingen.

Lichtintensiteit meer efficiënt dan belichtingsduur. Bij een gelijke lichtsom is de productie hoger bij de hogere lichtintensiteit dan bij de langere belichtingsduur.

Bij het telen van een Pepino-vrij tomatengewas is het mogelijk gebleken meer te produceren met meer dan 15 uur belichting, in tegenstelling tot ervaringen van tuinders vóór deze studie.

Fotosynthese

Kort na het begin van belichting in de nacht (30 min) is de fotosynthesecapaciteit, oftewel potentieel voor fotosynthese, gelijk aan het niveau die van het gewas gedurende de rest van de dag. De fotosynthesecapaciteit is stabiel gedurende de dag, ongeacht de belichtingsduur en -intensiteit

Energie

Bij gebruik van groeilicht, is licht is de sturende factor in een tomatenteelt. Teeltmaatregelen en het klimaat moeten hierop aangepast worden. Zowel de energie t.b.v. groeilicht als de energie dat verbruikt wordt t.b.v. verwarming bepalen de energie-input in de kas. De behandeling van 18 uur belichten met hoge lichtintensiteit resulteerde in de hoogste productie per MJ energie-input. Deze behandeling van 18 uur belichten kost evenveel energie als die van 15 uur, beide met dezelfde lichtintensiteit, maar levert meer kg tomaten op.

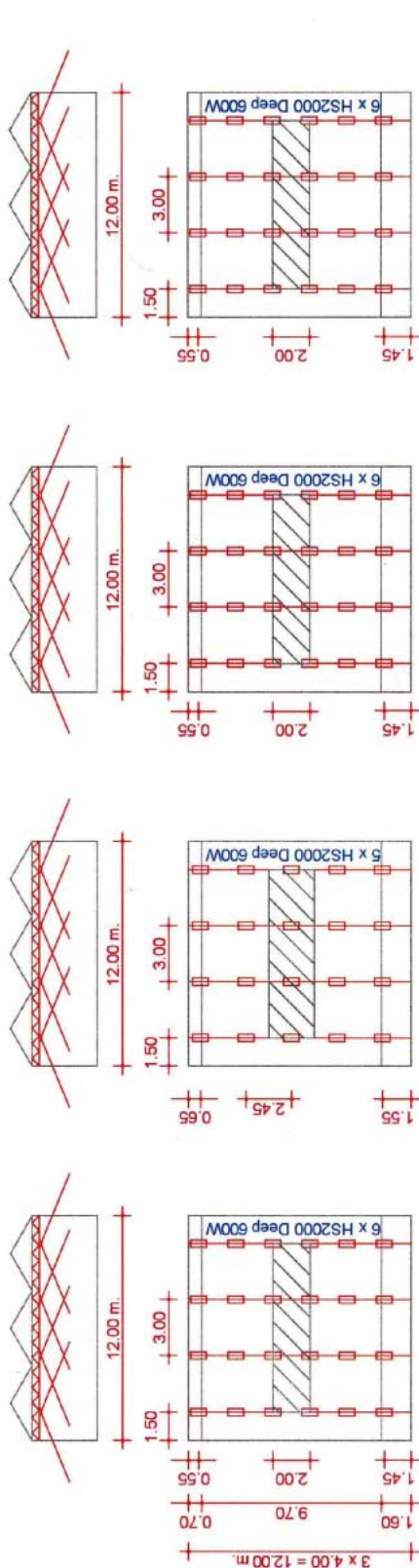
Bij dezelfde lichtsom, kost 18 uur belichten met een lagere lichtintensiteit minder energie in totaal dan 15 uur met de hogere lichtintensiteit, maar productie is minder bij 18 uur.

6. Referenties

- Adams, S.R. & F.A. Langton, 2005.
Photoperiod and plant growth: a review. *J. Hort. Sci. Biotech.* 80:2-10.
- Adams, S.R., V.M. Valdes, C.R.J. Cave & J.S. Fenlon, 2001.
The impact of changing light levels and fruit load on the pattern of tomato yields. *J. Hort. Sci. Biotech.* 76:368-373.
- Anonymous, 2005a.
KWIN: Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw 2005-2006. Groenten, Snijbloemen, Potplanten. PPO 594, Naaldwijk.
- Anonymous, 2005b.
Optimaal belichtingsstrategie tomaat. Week 21, 2005.
<http://www.zibb.nl/landentuinbouw/zoekinzibbdetail/asp/portaalnaam/landentuinbouw/artnr/965329/artsrtnr/934/knooppunt/602/index.html>, 25-11-2005.
- Anonymous, 2006.
Meteostation Haarweg. <http://www.met.wau.nl/index.html?http://www.met.wau.nl/haarwegdata/>, 25-5-2006.
- Ayari, O., M. Dorais & A. Gosselin, 2000.
Daily variations of photosynthetic efficiency of greenhouse tomato plants during winter and spring. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125: 235-241.
- Carvalho, S.M.P., E. Heuvelink, J. Harbinson & O. van Kooten, 2006.
Role of sink-source relationship in chrysanthemum flower size and Total biomass production. *Physiol. Plant.* (in druk).
- De Koning, A.N.M., 1989.
The effect of temperature, fruit load and salinity on development rate of tomato fruit. *Acta Hort.* 248:329-336.
- Demers, D.A. & A. Gosselin, 2002.
Growing greenhouse tomato and sweet pepper under supplemental lighting: optimal photoperiod, negative effects of long photoperiod and their causes. *Acta Hort.* 580: 83-87.
- Dorais, M. & A. Gosselin, 2002.
Physiological response of greenhouse vegetable crops to supplemental lighting. *Acta Hort.* 580: 59-67.
- Dorais, M., A. Papadopoulos & A. Gosselin, 2001.
Greenhouse tomato fruit quality. *Hort. Reveiws* 26: 239-319.
- Fukuda, N., S. Nishimura & Y. Fumiki, 2004.
Effect of supplemental lighting during the period from middle of night to morning on photosynthesis and leaf thickness of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and tsukena (*Brassica campestris* L.). *Acta Hort.* 633:237-244.
- Gosselin, A., O. Ayari, M.B. Erhioui, A. Papadopoulos & M. Dorais, 2001.
Optimization of HPS supplemental lighting for greenhouse tomato. *Acta Hort.* 548: 343-347.
- Gosselin, A., H. Xu & M. Dafiri, 1996.
Effects of supplemental lighting and fruit thinning on fruit yield and source sink relations of greenhouse tomato plants. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 65: 595-601.
- Heuvelink, E. & M. Dorias, 2005.
Crop growth and yield. In: *Tomato* (E. Heuvelink, ed) pp. 85-144. CAB Intern., Wallingford, Oxon, UK..
- Heuvelink, E., M.J. Bakker, L. Hogendonk, J. Janse, R. Kaarsemaker & R. Maaswinkel, 2006.
Horticultural Lighting in the Netherlands: New Developments, *Acta Hort.* 711: 25-33.
- Marcelis, L.F.M., F.M. Maas & E. Heuvelink, 2002.
The latest developments in the lighting technologies in Dutch horticulture. *Acta Hort.* 580: 35-42.
- McCall, D., 1992.
Effect of supplemental lighting on tomato transplant growth, and the after-effects on yield. *Sci. Hort.* 51:65-70.

Bijlage I.

Verdeling lampen in de 4 kasafdelingen



Afdeling 10-4
 24 x HS2000 Deep met 600 Watt Green Power lamp
 Lichtniveau: 162 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ (in calculatieveld)
 Afstand hart lamp - top gewas: 1,20 Meter

Afdeling 10-5
 24 x HS2000 Deep met 600 Watt Green Power lamp
 Lichtniveau: 162 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ (in calculatieveld)
 Afstand hart lamp - top gewas: 1,20 Meter

Afdeling 10-8
 20 x HS2000 Deep met 600 Watt Green Power lamp
 Lichtniveau: 133 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ (in calculatieveld)
 Afstand hart lamp - top gewas: 1,20 Meter

Afdeling 10-10
 24 x HS2000 Deep met 600 Watt Green Power lamp
 Lichtniveau: 162 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ (in calculatieveld)
 Afstand hart lamp - top gewas: 1,20 Meter

Calculatie uitsluitend van toepassing op Hortilux Schröder armaturen en gebaseerd op:
 * 720 $\mu\text{mol} \cdot \text{s}$ nom. bij een 400W Green Power lamp.
 * 1063 $\mu\text{mol} \cdot \text{s}$ nom. bij een 600W/230V Green Power lamp.
 * 1130 $\mu\text{mol} \cdot \text{s}$ nom. bij een 600W/400V Green Power lamp.
 * Afhankelijk van fabrikaat en aantal branduren

HORTILUX
Groeilicht

Voorstel groeilicht

Naam Plant Research International b.v. "De Haaf"

Adres Gebouwnr. 109 - Bornsesteeg 48

Woonplaats 6708 PE Wageningen

Telefoonnr. 06 20603187

- Afdeling 10-4 = behandeling 1
- Afdeling 10-6 = behandeling 3
- Afdeling 10-8 = behandeling 4
- Afdeling 10-10 = behandeling 2

Bijlage II.**Opbouw belichting in 4 kasafdelingen**

Periode	Kas	Behandeling	Lichtintensiteit ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Belichtingsduur (uur:min)	Lichtsom lampen ($\text{mol m}^{-2} \text{dag}^{-1}$)	Lampen aan (uur:min)
5 nov - 13 nov	1	12 H	162	5	2.9	7:00-12:00
	2	15 H	162	5	2.9	7:00-12:00
	3	18 H	162	5	2.9	7:00-12:00
	4	18 L	135	6	2.9	7:00-13:00
14 nov - 22 nov	1	12 H	162	6	3.5	7:00-13:00
	2	15 H	162	6	3.5	7:00-13:00
	3	18 H	162	6	3.5	7:00-13:00
	4	18 L	135	7:12	3.5	7:00-14:12
22 nov-24 nov	1	12 H	162	8:12	4.8	7:00-15:12
	2	15 H	162	8:12	4.8	7:00-15:12
	3	18 H	162	8:12	4.8	7:00-15:12
	4	18 L	135	9:52	4.8	6:08-16:00
25 nov-29 nov	1	12 H	162	9:09	5.3	6:51-16:00
	2	15 H	162	9:54	5.8	6:06-16:00
	3	18 H	162	10:39	6.2	5:21-16:00
	4	18 L	135	11:54	5.8	4:06-16:00
30 nov-2 dec	1	12 H	162	10:06	5.9	5:54-16:00
	2	15 H	162	11:36	6.8	4:24-16:00
	3	18 H	162	13:06	7.6	2:54-16:00
	4	18 L	135	13:56	6.8	2:04-16:00
3 dec- 9 dec	1	12 H	162	11:03	6.4	4:57-16:00
	2	15 H	162	13:18	7.8	2:42-16:00
	3	18 H	162	15:33	9.1	0:27-16:00
	4	18 L	135	15:58	7.8	0:02-16:00
Vanaf 9 dec	1	12 H	162	12:00	7.0	4:00-16:00
	2	15 H	162	15:00	8.75	1:00-16:00
	3	18 H	162	18:00	10.5	22:00-16:00
	4	18 L	135	15:00	8.75	22:00-16:00

Bijlage III.

Verslag met projectgroep (voorbeeld van 1 bijeenkomst)

Verslag van de bijeenkomst belichting tomaat van 31 januari 2006

Aanwezig

- Sjaak Vergeer (Hortilux)
- Pieter van Staalduinen en Jan Mulder (teeltbegeleiders)
- Ruud Kaarsemaker (PPO)
- Tom Dueck, Ad Hermsen, Geurt Versteeg, Rens Muusers en Esther Meinen (verslag) (PRI)

Destructieve oogst

De resultaten van de destructieve oogst uitgevoerd op 11 en 12 januari zijn gepresenteerd en besproken. Samengevat komt het er op neer dat bij langere belichtingsduur het gewicht van de planten toeneemt (van zowel blad, stengel als tros). Planten die 18 uur zijn belicht met de hoogste lichtintensiteit zijn het zwaarst. Gewichten van planten die 18 uur zijn belicht met een intensiteit van $135 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ komen redelijk overeen met planten die 15 uur zijn belicht met een intensiteit van $162 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Deze kassen hadden een gelijke lichtsom. Er zijn wel verschillen in bladdikte (zie tabel en figuren met resultaten die zijn bijgevoegd in deze mail). De volgende destructieve oogst wordt half februari uitgevoerd.

Beoordelen gewas en bespreken strategie klimaat

Pieter is in alle kassen geweest om het gewas goed te beoordelen.

Stand van het gewas per afdeling

Kas 1 (12 uur, $162 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

Groeizaam

Blad staat rond

Bladpunten iets gedraaid: gewas heeft iets over

Vruchten worden niet heel goed meegenomen

Geen overdreven sterke tros

Moet meer kracht op de tros

Kas 3 (18 uur, $162 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

Gewas staat harder en stugger dan 10-4

Generatieve kop

Opener dan 10-4

Trossen staan sterker

Bladpuntjes

Kas 4 (18 uur; $135 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

Meer bladpunten dan 10-4 en 10-6

Generatief

Open kop

Kort blad

Minder kracht op de tros dan 10-6; dunnere trossteel

Kas 2 (15 uur, 162 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

Meer generatief dan de 2 weken geleden

Gewas staat iets harder

Forse planten

Trossen generatief en redelijk sterk (niet zo sterk als 10-6)

Extra stengel:

Vorige week (week 4) is bij 1 op de 6 planten een extra stengel aangehouden.

Gewas in afdelingen 10-6, 10-8 en 10-10 staan meer op de vlucht dan 10-4 en in deze 3 afdelingen kan alweer een extra stengel aangehouden worden. Bij 10-4 hoeft dit eigenlijk nog niet; deze moet eigenlijk generatiever gestuurd worden. Maar proeftechnisch is het beter om in alle afdelingen tegelijk een extra stengel aan te houden.

Pieter overlegt met Vasco en laat weten wanneer er weer bij 1 op de 6 planten een extra stengel aangehouden moet worden in alle 4 afdelingen.

Klimaataanpassingen

Kas 1

Gewas moet generatiever

Sneller naar de nacht; bij zonsondergang zakken in temperatuur naar 15°C door te luchten en wel een buis aan te houden (vruchten moeten warm blijven en een koude kop)

Etmaaltemperatuur houden zoals deze was

Lichtregime:

Nu er meer instraling komt kunnen de lampen een periode uit.

Als de globale straling hoger is dan 275 W/m² schakelen we de lampen in de afdelingen met de hoge lichtintensiteit (afdeling 10-4, 10-6 en 10-10) uit voor een periode van 2 uur.

Afdelingen 10-8 en 10-10 hebben tot nu toe in de proef een gelijke lichtsom. 10-8 heeft 18 uur licht en 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en afdeling 10-10 heeft 15 uur licht en 162 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Als in afdeling 10-10 de lampen uitgaan voor 2 uur dan moeten in afdeling 10-8 de lampen uit voor een periode van 2 uur en 24 minuten. Dan is de lichtsom gelijk tussen 10-8 en 10-10 (13 uur x 162 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ is gelijk aan 15 uur en 36 min x 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

Blad plukken:

Deze week hoeft er geen blad geplukt te worden.

In kas 3 (18 uur hoog licht) hoeft geen extra blad geplukt te worden (het lijkt er op dat het gewas in deze afdelingen wat meer blad heeft, met name meer klein blad in de kop),

Verticale temperatuurgradiënt

Het is de bedoeling om in iedere afdeling in 1 plantbed een extra onderbuis aan te zetten om het temperatuurverschil tussen kop van de plant en de onderkant te verkleinen.

We hebben de verticale temperatuurgradiënt in het gewas gemeten (nog zonder deze extra buis) door de kasluchttemperatuur te meten ter hoogte van de kop van het gewas, in het midden en bij de onderste trossen. De afgelopen dagen was het temperatuurverschil van de kaslucht tussen kop en onderste trossen maximaal 1.5°C. Dit volgen we nog enkele dagen. Daarna beslissen we in overleg met teeltbegeleiders hoe warm de extra buis moet worden om het temperatuurverschil tussen kop en onderste tros te nivelleren.

Als we de vruchttemperatuur gaan meten is het belangrijk de afstand en de hoek tot de verwarmingsbuis te meten en gelijk te houden tussen de behandelingen.

Overige opmerkingen

De komende 4 weken komt er nog wekelijks een teeltbegeleider. Daarna kan de frequentie aangepast worden naar 1 keer in de 14 dagen.

Volgende week dinsdag komt Jan Mulder en misschien Vasco Zwinkels.

Bijlage IV.

Gewaswaarnemingen

Een voorbeeld van gewaswaarnemingen die wekelijks uitgevoerd werden in elke kasafdeling. Deze waarnemingen zijn uitgevoerd in kasafdeling 1 die 12 uur werd belicht met $162 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Ras: Ever

Pootdatum: 20 okt 2005

Weeknummer	3	4	5	6	7
Datum	16-1-2006	23-1-2006	30-1-2006	6-2-2006	13-2-2006
Tijdperiode	1 week	1 week	1 week	1 week	1 week
Gewasregistratie					
Gezette vruchten per plant	3.6	3.7	3.7	4.3	3.3
Gezette vruchten m^2	9.1	9.2	9.2	10.8	8.3
Geogste tomaten m^2	4.5	9.0	10.6	10.3	10.6
Plantbelasting m^2	4.6	0.2	-1.4	0.6	-2.3
Bloei Tros	9.6	10.0	10.7	11.7	12.4
Bloei Snelheid	0.7	0.4	0.7	0.9	0.7
Oogst Tros	1.9	3.2	3.5	4.3	5.2
Oogst snelheid	0.3	1.2	0.3	0.8	0.9
Tros aantal aan plant	9.2	9.4	10.3	11.0	11.7
toename in tros t.o.v. vorige week	0.9	0.2	0.9	0.8	0.7
Lengtegroei in cm	24.3	26.7	22.7	26.0	25.0
Kopdikte mm	8.9	9.0	9.4	10.1	9.8
Productie per week kg m^2	0.5	1.0	1.2	1.2	1.1
Productie cum kg m^2	0.5	1.6	2.8	3.9	5.1
Koplengte cm	5.0	5.3	5.7	7.7	7.3
Gewasregistratie					
Bladlengte cm	33.7	35.7	33.7	37.3	36.3
Aantal bladeren	18.3	17.0	20.0	22.3	22.0
Gewicht (gr vrucht ¹)	121.9	113.4	112.3	114.9	106.6

Bijlage V.

Destructieve oogsten

Gemiddelden van verschillende metingen met standaardfout ($n=4$ voor eerste oogst, rest $n=6$).

	Oogst	12 H		15 H		18 H		18 L	
		gem	se	gem	se	gem	se	gem	se
Lengte (m)	November	1.25	2.5	1.31	1.8	1.25	2.4	1.26	0.4
	Januari	3.03	3.5	3.15	5.0	3.03	6.5	2.94	5.6
	Februari	3.87	12.2	4.15	4.8	3.87	7.2	3.86	11.0
	Maart	5.40	11.2	5.57	10.4	5.27	9.6	5.13	7.0
	Augustus	10.32	9.5	10.35	9.4	10.22	7.3	9.80	17.8
Drooggewicht plant (g)	November	49.2	1.9	54.7	2.5	52.5	3.5	56.7	4.4
	Januari	178.4	8.4	220.7	11.0	250.1	8.4	215.8	5.3
	Februari	205.8	9.7	253.5	6.7	268.8	11.6	260.8	11.0
	Maart	235.2	16.5	326.3	26.1	336.2	33.1	325.6	33.5
	Augustus	287.0	28.1	328.9	37.7	311.0	40.8	336.2	39.6
Drogestof plant (%)	November	7.50	0.09	7.80	0.16	7.56	0.04	7.67	0.08
	Januari	5.83	0.10	6.13	0.09	6.34	0.09	6.40	0.05
	Februari	6.27	0.31	6.24	0.06	6.46	0.14	6.36	0.15
	Maart	6.64	0.09	7.26	0.21	6.97	0.11	7.28	0.24
	Augustus	8.09	0.33	8.48	0.27	8.88	0.24	7.99	0.41
Drooggewicht blad (g)	November	35.5	1.4	39.7	1.3	37.2	2.3	42.6	3.7
	Januari	50.6	2.2	61.5	4.1	75.2	2.0	63.8	2.3
	Februari	64.5	4.2	76.8	3.2	80.0	1.3	74.0	5.2
	Maart	56.2	4.4	81.9	8.3	84.2	13.0	86.2	14.1
	Augustus	51.9	5.1	58.2	6.9	61.5	9.1	67.5	9.7
Drooggewicht stengel (g)	November	11.0	0.3	12.7	0.6	10.8	0.7	12.4	0.7
	Januari	33.1	1.8	40.5	1.4	43.0	0.6	39.4	0.9
	Februari	47.3	1.3	59.0	2.1	57.0	1.8	55.6	1.6
	Maart	73.6	4.7	97.4	5.5	96.4	5.5	91.3	8.1
	Augustus	151.9	12.2	182.4	21.2	176.2	20.8	169.1	13.9
Drooggewicht tros (g)	November	2.64	0.3	2.30	1.0	4.46	1.8	1.73	0.6
	Januari	94.7	5.8	118.8	6.1	131.8	7.7	112.6	4.3
	Februari	94.1	5.3	117.7	3.2	131.8	10.9	131.2	9.5
	Maart	105.4	9.5	147.1	14.9	155.7	15.1	148.0	11.7
	Augustus	83.2	15.0	88.4	11.2	73.3	13.1	99.6	19.5
LAI (m ² m ⁻²)	November	2.66	0.09	2.73	0.08	3.00	0.14	3.19	0.27
	Januari	3.60	0.23	3.66	0.33	4.37	0.15	3.51	0.12
	Februari	4.21	0.29	4.36	0.09	4.30	0.12	3.88	0.18
	Maart	3.73	0.25	4.22	0.42	4.26	0.58	4.19	0.69
	Augustus	2.41	0.28	2.49	0.35	2.95	0.51	2.96	0.42
SLA (cm ² g ⁻¹)	November	299.9	6.6	275.1	11.0	323.9	12.3	299.2	7.2
	Januari	291.1	11.6	240.9	9.9	236.8	7.2	226.0	7.9
	Februari	262.1	6.8	228.4	7.7	215.5	3.8	211.8	7.8
	Maart	267.3	7.8	207.8	9.2	204.6	4.7	195.5	9.3
	Augustus	179.1	3.9	162.2	4.5	181.4	14.7	173.3	4.4

Bijlage VI.

Temperatuurgradiënt kaslucht

Kasluchttemperatuur gemeten op 3 hoogtes in het gewas en vruchttemperatuur van vrucht in onderste tros in een plantbed met een normale buis en een plantbed met een dubbele buis. Data zijn gemiddelden van metingen uitgevoerd tussen 8 en 13 februari en tussen 27 februari en 5 maart.

Periode	Meting	Temperatuur (°C)	
		Normale buis	Dubbele buis
Lampen aan	Kaslucht kop	17.70	17.52
	Kaslucht midden	17.36	17.30
	Kaslucht onder	17.90	18.33
	Vruchttemperatuur	18.33	19.01
	Kaslucht kop-onder	-0.20	-0.81
Midden op de dag	Kaslucht kop	21.74	21.30
	Kaslucht midden	21.10	20.97
	Kaslucht onder	21.60	21.90
	Vruchttemperatuur	21.64	22.06
	Kaslucht kop-onder	0.14	-0.60

Bijlage VII.

Buitentemperatuur

Tabel Buitentemperatuur in de afgelopen 5 belichtingsseizoenen. Een belichtingsseizoen is gedefinieerd van 1 december t/m 31 maart. Data zijn van een meetstation op de Haarweg in Wageningen. De temperatuur is gemeten op een hoogte van 150 cm.

Seizoen	Gemiddelde buitentemperatuur (°C)
December 2005 - 31 maart 2006	2.8
December 2004 - 31 maart 2005	4.1
December 2003 - 31 maart 2004	4.4
December 2002 - 31 maart 2003	3.6
December 2001 - 31 maart 2002	5.1

Bijlage VIII. Foto's



Start van de belichtingsproef



Belichte kop van het gewas



Bloei van tomaat



Tuinders bezoek



Tomatenteelt in productie



Dubbele buis

