



Richtinggevende beelden voor klimaat neutrale glastuinbouw

Eric Poot, Nieves García, Arie de Gelder, Frank Kempkes, Leo Marcelis, Marcel Raaphorst, Peter van Weel en Feije de Zwart

Rapport GTB-1365

Referaat

In opdracht van het ministerie van EZ en het PT heeft Wageningen UR Glastuinbouw in het kader van Kas als Energiebron concepten voor onbelichte en belichte teelten ontworpen en doorgerekend met hoge ambities qua energiebesparing. Er is een onbelichte tomatenteelt ontworpen met een energieverbruik van 12 m³ a.e. per m² per jaar, dat is zo'n 70% zuiniger dan de praktijk referentie. Hierbij is voortgeborduurd op de VenLow Energy Kas en de Next Generation Semigesloten Kas op het IDC Kas als Energiebron. Voor een belichte teelt van roos cultivar 'Red Naomi!' is aan de hand van een aanpak in vijf stappen een concept ontworpen met een elektraverbruik voor belichting van zo'n 250 kWh per m², waar de referentie 500 kWh is. Door minder uren te belichten, minder zon weg te schermen, driedaagse lichtintegratie en toepassing van diffuus glas met AR coating en LED belichting, lijkt deze ambitie haalbaar met behoud van productie. Echter de benodigde investeringen lijken economisch nog niet haalbaar.

Abstract

With financial support of the Dutch ministry of EZ and Dutch horticulture product board PT, Wageningen UR Greenhouse Horticulture designed and simulated concepts with savings of 70% on thermal energy in the greenhouse cultivation of tomatoes, and 50% on electricity for artificial light in the greenhouse cultivation of roses. The tomato concept is based on prototypes "VenLow Energy Greenhouse" and "Next Generation Semi-closed Greenhouse", and is able to produce tomatoes with 12 m³*m⁻²*year⁻¹ of natural gas equivalents. Options for energy savings on electricity for assimilation lighting for roses cv. 'Red Naomi!' were developed regarding a roadmap with five steps. With significantly less hours of artificial lighting, more solar radiation by using less screens during day time, 3-day light integration and application of diffuse glass with AR coating and LED lights, 50% saving on energy for lighting seems possible without concessions to production. However this system seems not economic feasible yet.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1365

Projectnummer: 3742304814

Disclaimer

© 2015 Wageningen UR Glastuinbouw (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wageningenUR.nl/glastuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1 Ontwikkeling van belichting in de glastuinbouw	7
	1.2 Doelstelling	8
	1.3 Aanpak	9
2	Onbelichte tomatenteelt	11
	2.1 Referentie	11
	2.1.1 Praktijk	11
	2.1.2 IDC	11
	2.2 Ambitie	12
	2.3 Alternatieve ontwikkelingen	14
3	Belichte rozenteelt	15
	3.1 Referentie	15
	3.2 Ambitie	15
	3.3 Analyse kader	15
	3.4 Zoveel mogelijk natuurlijk licht benutten	16
	3.4.1 Kasontwerp optimaliseren	16
	3.4.2 Toepassen van diffuus glas	17
	3.4.3 Minder zonlicht wegschermen	17
	3.4.4 Lichtintegratie	19
	3.5 Zoveel mogelijk mol PAR per kWh elektriciteit	20
	3.5.1 Efficiëntere lampen	20
	3.5.1.1 SOX	20
	3.5.1.2 LED	21
	3.5.2 Belichtingssystemen met minder omzettingsverliezen	21
	3.6 Zoveel mogelijk mol PAR onderscheppen	22
	3.6.1 LAI	22
	3.6.2 Belichting tussen het gewas	22
	3.7 Zoveel mogelijk assimilaten uit een mol PAR	23
	3.7.1 Belichten als de plant er klaar voor is	23
	3.7.2 Fotosynthese en andere plantprocessen sturen met lichtkleuren	23
	3.7.2.1 Blauw licht	23
	3.7.2.2 Rood licht	24
	3.7.2.3 Verrood licht	24
	3.7.3 Lichtrecept	25
	3.8 Optimale assimilatenverdeling	25
	3.8.1 Beschrijving huidige rozenteelt	25
	3.8.2 Alternatief gewasmanagement	27
	3.8.3 Sink op source aanpassen	27

4	Modelberekeningen	29
	4.1.1 Belichtingsstrategie	29
	4.1.2 Uitgangspunten belichting	30
	4.2 Resultaten simulatie	30
	4.3 Effect toepassing technische innovaties	32
	4.4 Berekende effecten op het rendement	33
5	Innovatief concept	35
	5.1 Technische installaties	35
	5.2 Teelttechnisch concept	35
	5.2.1 Steeldichtheid	36
	5.2.2 Klimaat beheersing	36
	5.3 Systeem integratie	36
6	Discussie en conclusie	37
	6.1 Lichtbenuttingscoëfficiënt Q-groei	37
	6.2 Hogere Q-groei bij lagere lichtintensiteiten	37
	6.3 Kwaliteit en bloeiplanning	38
	6.4 Economische aspecten	39
	Literatuur	41
	Bijlage I. Setpoints klimaat referentieteelt roos	45
	Bijlage II. Validatie kasklimaatmodel	47

Samenvatting

Het Nieuwe Telen levert met 40% besparing op thermische energie een belangrijke bijdrage aan de energietransitie in de Nederlandse glastuinbouw. Gezien de afspraken tussen sector en overheid, is een volgende stap richting klimaatneutrale glastuinbouw nodig. In het programma Kas als Energiebron zijn in het Jaarplan 2013 onder de actielijn "Energiebesparing teelt" de volgende ambities geformuleerd:

- Ontwikkeling van teeltconcepten met een energiebesparing van 70% in de onbelichte teelt bij minimaal gelijkblijvende productie en kwaliteit.
- Ontwikkeling van teeltconcepten met een energiebesparing van 50% op elektriciteit voor belichting in belichte teelten, met minimaal gelijkblijvend rendement.

Wageningen UR Glastuinbouw heeft met behulp van creatieve sessies, model berekeningen en literatuur onderzoek bouwstenen geleverd voor de invulling van deze twee concepten. Concreet is een onbelichte tomatenteelt ontworpen met een energieverbruik van 12 m³ per m² per jaar ("state of the art" met de Venlow Energy Kas is 16 m³) en een belichte rozenteelt met een elektraverbruik voor belichting van 250 kWh per m² (referentie is 500 kWh).

Voor de onbelichte tomatenteelt is een verdere besparing op (thermische) energie te vinden in het verder verlagen van de warmtevraag van de teelt. Dit kan door verdergaande isolatie: door innovaties in schermen of door dubbel glas; en door het toestaan van hogere niveaus van luchtvochtigheid. In het kader van dit onderzoek zijn ontwerpen gemaakt en doorgerekend voor aangepaste prototypes op het IDC Kas als Energiebron; de VenLow Energy kas (met dubbel glas) en de Next Generation Semigesloten kas. Dat laatste type maakt onder meer gebruik van ontvochtiging van kaslucht met terugwinning van latente warmte, meerdere schermen, een warmtepomp en een lage temperatuur verwarmingsnet; tevens is diffuus glas aangebracht.

Voor de belichte rozenteelt is een stappenplan ontwikkeld, waarmee de besparing op elektriciteit voor belichting gestructureerd aangepakt kan worden. Vergelijkbaar met het stappenplan van Het Nieuwe Telen. De stappen voor besparing op belichtingsenergie zijn:

1. Maximaal gebruik van natuurlijk licht;
2. Zoveel mogelijk mol PAR licht uit een kWh elektriciteit halen;
3. Maximaliseren van de onderschepping van molen lichtenergie door het gewas;
4. Maximaliseren van de hoeveelheid assimilaten per onderschepte hoeveelheid licht;
5. Maximaliseren van de productie van waardevolle producten per geproduceerde eenheid assimilaten.

Voor elk van de vijf stappen zijn een aantal opties geformuleerd.

1. Maximaal gebruik van natuurlijk licht:
 - a. Optimaliseren van de kas voor maximale benutting van het natuurlijke licht in de winter.
 - b. Diffuus glas.
 - c. Minder zonlicht wegschermen.
 - d. Lichtintegratie.
2. Zoveel mogelijk mol PAR licht uit een kWh elektriciteit:
 - a. Efficiëntere lampen: LED en eventueel SOX.
 - b. Belichtingssystemen met minder omzettingsverliezen (gelijkstroom).
3. Maximaliseren van de onderschepping van molen lichtenergie door het gewas:
 - a. Snelle toename van LAI bij een onvolgroeid gewas.
 - b. Belichting tussen het gewas.
4. Maximaliseren van de hoeveelheid assimilaten per onderschepte hoeveelheid licht:
 - a. Belichten als de plant er klaar voor is.
 - b. Toepassing van lichtkleuren (rood, blauw en verrood) in een speciaal lichtrecept.
5. Maximaliseren van de productie van waardevolle producten per geproduceerde eenheid assimilaten:
 - a. Sinks op sources aanpassen door middel van aangepast gewasmanagement.

Om gevoel te krijgen bij de hoeveelheid energie voor belichting die bespaard kan worden in een vrij gebruikelijke teeltopzet, nog zonder investeringen in innovatieve technieken als LED belichting en diffuus glas, zijn scenario berekeningen gemaakt voor een teelt van Red Naomi!. Hieruit blijkt dat een besparing van zo'n 47% behaald kan worden, zonder dat dit ten koste gaat van het aantal takken per m² en het takgewicht. Dit wordt vooral bereikt door veel minder uren te belichten; dit wordt deels gecompenseerd doordat er meer natuurlijk licht wordt toegelaten.

De resultaten van de modelberekening zijn gevoelig voor de lichtbenuttingsefficiëntie, weergegeven door de parameter Q-groei. Q-groei kan gezien worden als een resultante van de laatste drie stappen uit de hierboven weergegeven benadering en de fysiologische processen die daar aan ten grondslag liggen. In de literatuur is voor Red Naomi! een gemiddelde Q-groei van 2,7 g/mol PAR gerapporteerd. Met deze waarde is de besparing van 47% berekend.

Echter in de praktijk worden behoorlijk lagere waarden voor Q-groei gemeld dan de opgave in de literatuur: gemiddeld 2 g/mol PAR. Met minder belichten en meer zonlicht toelaten, kan op basis van deze waarde voor Q-groei een besparing van 27% behaald worden. Het toepassen van diffuus glas met AR coating en LED belichting (maatregelen die onder de stappen 1 en 2 te scharen zijn) zorgt voor een efficiënter lichtaanbod. Samen met de efficiëntere lichtbenutting lijkt de ambitie van 50% besparing op belichting mogelijk, met behoud van productie en takgewicht. Er ontstaat in dit zuinige scenario weliswaar investeringsruimte omdat de variabele kosten lager zijn dan de referentie, maar dit lijkt niet voldoende om de meerkosten van de innovatie technieken te kunnen dekken. Voor wat betreft kwaliteit moet de kanttekening gemaakt worden, dat takgewicht niet het enige kwaliteitscriterium is. Een roos als Red Naomi! is gevoelig voor kasklimaat gerelateerde kwaliteitsproblemen. Hiermee is in de berekeningen geen rekening gehouden.

1 Inleiding

In 2008 is met het verschijnen van het rapport "Richtinggevende beelden voor energiezuinige teelt in semigesloten kassen" (Poot *et al.* 2008), dat als taakstellende projectopdracht van het programma Kas als Energiebron werd uitgevoerd, een start gegeven aan de ontwikkeling van Het Nieuwe Telen (zie o.m. (Gelder *et al.* 2012). Doel van Het Nieuwe Telen is het substantieel verlagen van het energieverbruik bij minimaal gelijk blijvende productie. Bij tomaat is dat bijvoorbeeld geconcretiseerd in 40% besparing op thermische energie, met behoud van een productie van 60 kg/m². De deskstudy heeft de afgelopen jaren opvolging gekregen in een reeks van projecten, van deskstudies voor een grote verscheidenheid aan gewassen, tot kasexperimenten, technische doorontwikkeling en praktijktoepassingen. Het Nieuwe Telen blijkt anno 2012/2013 een succesvolle ontwikkeling, met toepassing op ca. 100 ha glastuinbouw in Nederland.

Het Nieuwe Telen levert een belangrijke bijdrage aan de energietransitie in de Nederlandse glastuinbouw. Toch is het niet voldoende om tot klimaatneutrale glastuinbouw te komen. Gezien de afspraken tussen sector en overheid, is een volgende stap richting klimaatneutrale glastuinbouw nodig. In het programma Kas als Energiebron zijn in het Jaarplan 2013 onder de actielijn "Energiebesparing teelt" de volgende ambities geformuleerd (Broekharst *et al.* 2012):

- Ontwikkeling van teeltconcepten met een energiebesparing van 70% in de onbelichte teelt.
- Ontwikkeling van teeltconcepten met een energiebesparing van 50% in belichte teelten.

Het programma Kas als Energiebron van het Ministerie van EZ en het Productschap Tuinbouw heeft aan Wageningen UR Glastuinbouw opdracht gegeven om een deskstudie uit te voeren à la Richtinggevende Beelden, waarin teeltconcepten worden ontworpen die voldoen aan de genoemde ambities, en voldoende perspectief bieden voor glastuinders. Het project is in 2012 en 2013 uitgevoerd.

1.1 Ontwikkeling van belichting in de glastuinbouw

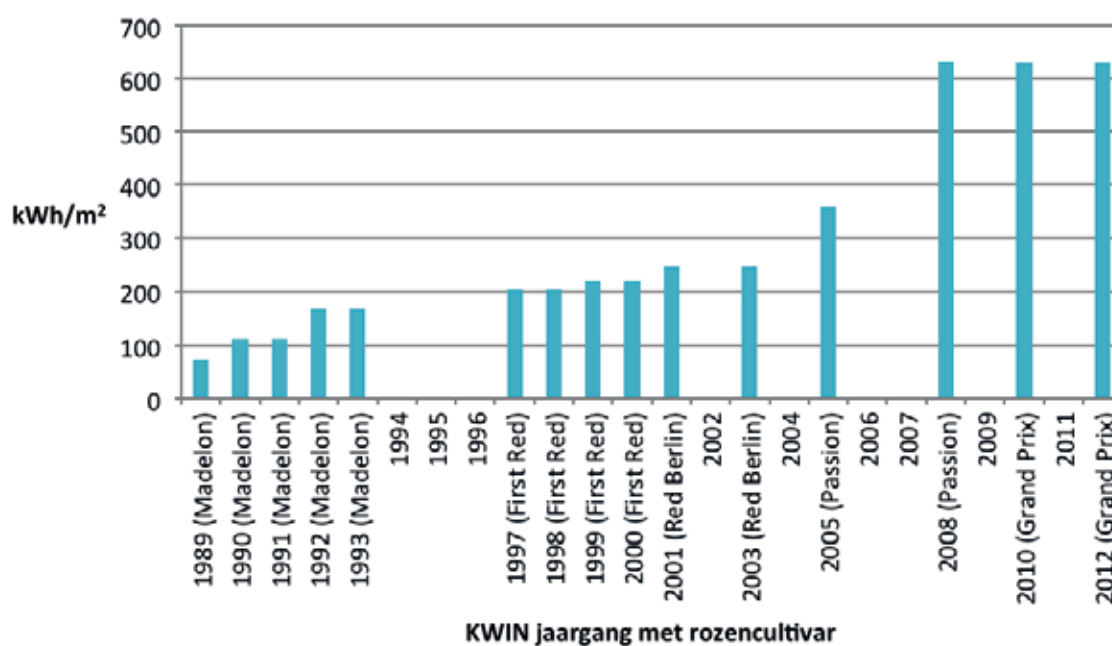
Het Nieuwe Telen is in eerste instantie ontwikkeld voor besparing op gasverbruik voor warmte. Er is in de Nederlandse glastuinbouw echter ook een sterke toename van het gebruik van elektriciteit. Uit de Energiemonitor Glastuinbouw blijkt dat de elektriciteitsconsumptie is toegenomen van 4,2 miljard kWh in 2005 tot 6,2 miljard kWh in 2011 (Velden and Smit 2013). In 2011 kwam de elektra consumptie voor zo'n 82% voor rekening van belichting. De meeste elektra werd gebruikt door roos (29%), gevolgd door tomaat (16%), chrysant (15%) en bloeiende potplanten (15%). De groei in elektraverbruik in deze periode was vooral toe te schrijven aan een verhoging van de belichtingsintensiteit en in iets mindere mate aan een groei van het belichte areaal, zie Tabel 1.

Tabel 1

Ontwikkeling assimilatiebelichting in Nederlandse Glastuinbouw (Velden and Smit 2013).

		2006	2011	Mutatie [%]
Areaal met assimilatiebelichting	ha	2800	3142	+12
Intensiteit	W _e /m ²	48	60	+25
Gebruiksduur	Uur	2498	2357	-6
Consumptie	10 ⁶ kWh	3711	4871	+31

Een illustratie van de ontwikkeling van de belichtingsintensiteit over een langere periode is weergegeven in Figuur 1. Deze figuur is gebaseerd op de uitgangspunten voor de saldobegrotingen van grootbloemige rode rozen in Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw (Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas *et al.*). (NB: niet in ieder jaar is een KWIN verschenen.) Uit dit figuur blijkt dat met name in de periode tussen 2003 en 2008 er een forse intensivering van belichting heeft plaatsgevonden. De laatste jaren worden er meerdere circuits geïnstalleerd. Hiermee is het mogelijk om gedurende bepaalde perioden een gedeelte van de totale capaciteit te laten branden ("dambord"). De maximale capaciteit is hiermee verhoogd, maar omdat deze niet fulltime hoeft te branden, kan de uiteindelijke intensiteit van belichten minder zijn. In Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2012-2013 is voor de grootbloemige rode roos 'Grand Prix' uitgegaan dat de complete installatie met een geïnstalleerd vermogen van 110 Watt/m² gedurende 5717 uur draait, wat het elektraverbruik op 629 kWh/m² doet uitkomen. Dezelfde KWIN geeft ook cijfers voor andere grootbloemige cultivars waarbij wel volgens het "dambord" principe wordt belicht: met een vergelijkbare installatie waarvan de ene helft meer uren brandt dan de andere, worden verbruiken tussen de 472 ('Passion') en 585 ('Avalanche') kWh/m² berekend.



Figuur 1 Ontwikkeling belichtingsintensiteit bij grootbloemige rode roos, op basis van KWIN data.

In hun rapport verwachten (Velden and Smit 2013) voor de komende jaren een verdere toename van het elektragebruik, met name ook voor belichting. Ze veronderstellen dit op basis van de prijzen die voor jaarrond kwaliteitsproducten worden betaald. Door extrapolatie komen ze op een elektraverbruik van 8,3 miljard kWh in 2020, zo'n 40% meer dan in 2011.

1.2 Doelstelling

Het doel van de studie is het opstellen van realistische concepten met technische en teeltechnische "bouwstenen" voor klimaatneutrale glastuinbouw. Er worden twee concepten ontworpen, één voor een onbelichte teelt van glasgroenten en één voor een belichte teelt van snijbloemen. Voor de onbelichte teelt wordt voortgeborduurd op de ervaringen die bij tomaat zijn opgedaan. Voor de belichte teelt wordt het gewas roos als pilot gekozen. Dit gewas had in 2011 de grootste elektraconsumptie binnen de Nederlandse glastuinbouw (Velden and Smit 2013).

De energiedoelstellingen voor deze concepten zijn:

- Onbelichte tomaat: verdere besparing op gasgebruik voor warmte ten opzichte van het meest zuinige (semipraktijk) kasteelt systeem anno 2013 met 25%: 12 (in plaats van 16) m³ per m² per jaar. Ten opzichte van de referentie uit Richtinggevende Beelden in 2008 (40 m³ per m² per jaar), is de besparing 70%.
- Belichte roos: besparing van 50% op het gebruik van elektriciteit voor belichting ten opzichte van de praktijk referentie. Deze referentie is op 500 kWh per m² gesteld.

Belangrijke randvoorwaarden zijn behoud van productie bij onbelichte tomaat, en behoud van rendement bij het belichte roos.

1.3 Aanpak

De aanpak voor de ontwikkeling van de teeltconcepten was verschillend. Voor de onbelichte tomatenteelt kon worden voortgeborduurd op ervaringen en resultaten van recente kasexperimenten, zoals Het Nieuwe Telen, Gelimiteerd CO₂ en VenLow Energy. De teeltkundige kant van het concept wijkt niet veel af van de teeltwijzen zoals die in de genoemde projecten is beproefd. Voor dit concept zijn daarom voornamelijk technische varianten ontworpen en met Kaspro (Zwart 1996) doorgerekend. Voor deze berekening is Kaspro uitgebreid met nieuwe modules.

Voor de belichte rozenteelt is een aanpak gevolgd, die vergelijkbaar is met die van Richtinggevende Beelden (Poot *et al.* 2008). De volgende stappen zijn doorlopen:

1. Vaststellen van de referentie en concretiseren van de ambitie.
2. Vaststellen van de klimaatparameters, waaronder het aantal uren belichting per dag, om op de energie ambitie uit te komen. Dit is met behulp van het kasklimaat simulatiemodel Kaspro gedaan. Dit regime vormt de randvoorwaarde waarbinnen het teeltconcept moet functioneren.
3. Opstellen van een analysekader om het probleem structureel aan te kunnen pakken.
4. Verzamelen van ideeën. Ideeën zijn door de onderzoekers individueel bedacht, veelal op basis van meer of minder recente onderzoekservaringen. Er zijn ideeën geformuleerd in projectgroep vergaderingen en in besprekingen met de coördinatoren van Kas als Energiebron. Tevens is een brainstormsessie georganiseerd.
5. Beschrijven van de teeltstrategie.

Bij het beschrijven van de teeltstrategie is vastgesteld welke kennishiaten er nog zijn.

2 Onbelichte tomatenteelt

Voor de onbelichte tomatenteelt wordt de ingeslagen weg zoals in het Innovatie en Demonstratie Centrum (IDC) binnen het programma Kas Als Energiebron sinds 2007 is ingezet, vervolgd. Het verlagen van de energiekosten en het verduurzamen van de sector betekent dat nog meer dan in het verleden kassen hun energie-input zullen moeten verlagen, zeker nu ook het economisch gebruik van de WKK zoals dat de laatste 10 jaar praktijk was, minder rendabel wordt.

De resultaten van het IDC en de andere onderzoeksprojecten in het kader van het onderzoeksprogramma Kas als Energiebron zijn richtinggevend geweest voor de ontwikkeling in de tuinbouw. Qua teelt zijn het accepteren van een hogere luchtvochtigheid, het uitgestelde luchten op temperatuur, het gebruik van lagere buistemperaturen en het verminderen van de CO₂-dosering tot ontwikkeling gekomen als bouwstenen voor de verbetering van de energie-efficiëntie en verlaging van het energieverbruik. Voor de tomatenteelt iets minder relevant maar toch belangrijk genoeg om hier nog te noemen, is het toelaten van meer licht. Qua techniek is het gebruik van de warmtepomp en de toepassing van diffuus glas in opkomst en op dit moment wordt de actieve ontvochtiging als sluitstuk op de verlaging van de stookbehoefte van kassen uitgewerkt.

2.1 Referentie

2.1.1 Praktijk

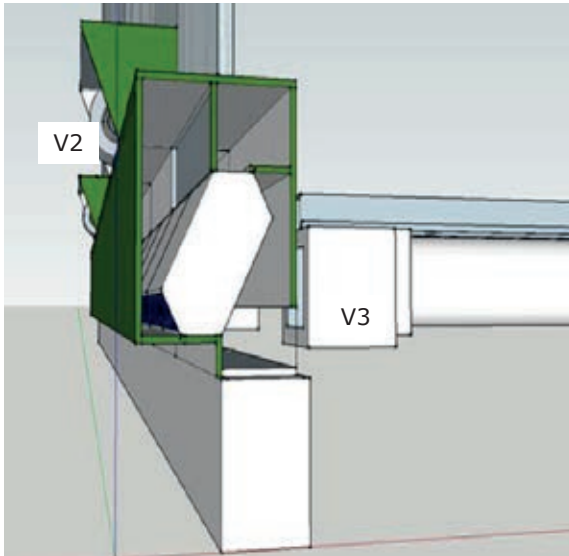
Referentie is een tomatenteelt die medio december wordt geplant en eind november is leeg geoogst. De ervaringen binnen het project van de Venlow Energy kas in de teeltjaren 2011 - 2013 hebben laten zien dat zuinige praktijktuinders (wel met ocap aansluiting) deze teelt met het ras Komeett met een energiegebruik voor warmte van 32 á 33 m³/m² hebben kunnen rondzetten. De bijbehorende oogst ligt rond de 70 kg/m² van dit ras. Hierbij hebben deze ondernemers zoveel mogelijk principes van het nieuwe telen toegepast zonder daadwerkelijk in specifieke randapparatuur zoals buitenlucht aanzuiging te investeren. Hierdoor is het elektriciteitsgebruik op deze bedrijven nog niet toegenomen. Het genoemde warmtegebruik van 32 m³/m² is in verschillende bijeenkomsten rond het project van de Venlow Energy kas, door de praktijk als erg laag benoemd. Daarbij is aangegeven dat het "peloton" altijd nog een warmtegebruik van meer dan 35 m³/m² kent.

2.1.2 IDC

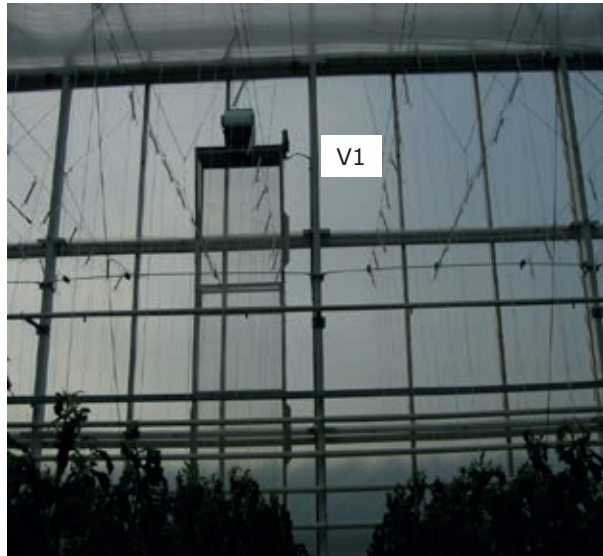
Binnen het IDC is de Venlow Energy kas beproefd. Deze kas bezit de volgende eigenschappen:

- Dubbel glas met anti-reflectie coating op 3 zijden en één low-emission coating.
Het dubbel glas en de low-emission coating zorgen voor een hoge isolatiewaarde en de anti-reflectie coatings waarborgen een hoge lichttransmissie.
- Het Air & energy systeem.
Het systeem waarbij (kunststof) verwarmingsbuizen in de luchtslang zijn gemonteerd om de kas te verwarmen en de verwarming van de van buiten aangezogen lucht aan het begin van de luchtslurven plaatsvindt maakt het mogelijk om een verwarmingssysteem van grotendeels kunststof te maken en de kas met lage watertemperatuur te verwarmen. Dit zorgt ervoor dat de efficiency van het ketelhuis toeneemt.
- Balansventilatie.
Het ontvochtigingssysteem is gebaseerd op het gebruik van buitenlucht met warmteterugwinning. Dit verlaagt het warmteverlies tijdens de ontvochtiging. Hiermee werd 4 m³ gas per m² per jaar bespaard.

A



B



Figuur 2 Gevel unit met toevoerventilator V2 en verdeel en verwarmingsventilator V3 (A) en de afvoerventilator V1 (B).

Het toegepaste teeltconcept is gebaseerd op de ervaringen bij het nieuwe telen. Als aanloop naar deze proef is een nota "Nieuw kasdek voor het nieuwe telen" (Poot *et al.* 2010) opgesteld waar de voor- en nadelen van een dubbeldek zijn beschreven en hoe daar gewastechnisch op te anticiperen en bij te sturen. Met deze kas is bewezen dat het mogelijk is een tomatenteelt met een fors lager energiegebruik (meer dan 50%) ten opzichte van de eerder genoemde praktijkgroep zoals beschreven in paragraaf 2.1.1. te bereiken zonder dat dit ten koste gaat van productie. In onderstaande Tabel 2 zijn de energieprestaties van de teeltjaren 2011 en 2012 gepresenteerd.

Het toegenomen elektriciteitsgebruik in 2012 is het gevolg van de aanpassing van het Air & Energy systeem waardoor ook tijdens het verwarmen ventilatoren draaien (V3 in Figuur 2).

Tabel 2

Warmtegebruik, elektriciteitsgebruik en totaal energiegebruik van de teeltjaren 2011 en 2012 in de Venlow Energy kas.

	2011	2012
Warmtegebruik [m^3/m^2] ae.	16.3	14.4 ¹⁾
Totaal elektriciteitsgebruik [kWh/m^2]	2.8	5.9
Totaal energiegebruik [m^3/m^2] ae. ²⁾	17.0	15.9

¹ Eventuele efficiency verbeteringen door dit verwarmingssysteem in het ketelhuis zijn hier niet in opgenomen

² Totaal energiegebruik is exclusief pompen en motoren t.b.v. watergift, ontsmetting, cv water e.d.

2.2 Ambitie

De ambitie is om een energiezuinige kas te ontwerpen met een primair energiegebruik van minder dan $12 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ae. Omdat voor de praktijk de toepassing van een dubbeldek nog erg ver weg lijkt, is er ook een tweede ambitiespoor uitgezet met een enkeldeks kas. Deze kas zou op een primaire energie input van minder dan $20 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ae. uit moeten komen. Beide systemen zijn in het teeltjaar 2013 binnen het IDC beproefd. De laatste jaren is in onderzoek naar voren gekomen dat toepassing van diffuus licht tot een substantiële productieverhoging kan leiden van ca. 10% zonder dat dit negatieve gevolgen heeft voor het energiegebruik. Om een maximale productie bij minimale input van primaire brandstof te bereiken is een diffuus kasdek dan ook onontbeerlijk.

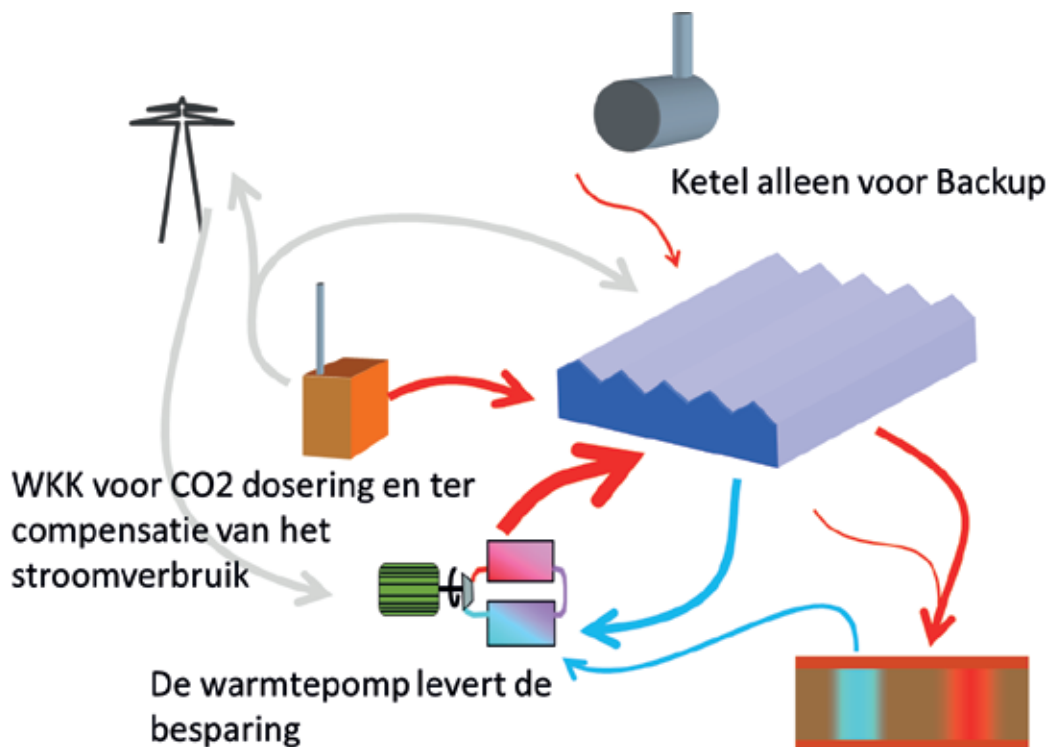
De ambitie voor de enkeldeks kas met minder dan 20 m³/m² ae is getest in het teeltjaar 2013 in het IDC. Daarvoor is een enkeldeks kas, de "Next Generation Semigesloten Kas" (Zwart 2013), met de volgende eigenschappen uitgerust:

- *Ontvochtiging bij gesloten ramen met behulp van een koude warmtewisselaar (condensatie)*
In een standaard kas gaat er in de winter voelbare en latente warmte verloren wanneer de ramen of schermen op een kier worden gezet om de luchtvochtigheid in de kas te verlagen. Ook bij gebruik van buitenlucht ontvochtiging gaat deze warmte verloren, tenzij er een balansventilatiesysteem met warmteterugwinning wordt gebruikt, zoals bij de VenlowEnergy kas. In dat geval wordt echter alleen de voelbare warmte deels teruggewonnen, maar raak je de latente warmte nog steeds kwijt.
Alle energie die met de ontvochtiging te maken heeft kan binnen worden gehouden wanneer het vocht op een koud koelblok wordt gecondenseerd en de warmte weer via het verwarmingssysteem kan worden teruggewonnen.
- *Verzameling van warmte in de zomer t.b.v. de winter*
In een Next Generation Semigesloten kas kan dezelfde luchtbehandelingskast die in de winter wordt gebruikt voor de ontvochtiging, in de zomer worden gebruikt voor de verzameling van warmte-overschotten uit de kas t.b.v. de regeneratie van een aquifer. Hierdoor kan de kas gedeeltelijk met duurzame energie worden verwarmd (zoals dat ook het geval was met de eerste generaties gesloten kassen).
- *Verscheidene schermen*
De kas heeft een transparant en een gealuminiseerd beweegbaar scherm en in de eerste maanden van het jaar een permanent foliescherm. Door de aanwezige ontvochtiging met een koelblok is gekozen voor een folie zonder perforatie.
Door het gebruik van meerdere schermen heeft de kas in de koude periode van het jaar een hoge isolatiegraad en in de rest van het jaar een hoge lichttransmissie.
- *Dubbel aantal verwarmingsbuizen*
Om de kas efficiënt te kunnen verwarmen met een warmtepomp is het van belang om een LT-verwarmingssysteem te gebruiken. Dit is gedaan door middel van een verdubbeling van het aantal 51-ers in de kas. Er liggen nu dus 20 51-ers per 8 m tralie.
- *Diffuus glas*
Diffuus glas geeft een maximale verspreiding van zonlicht in het gewas. Het toegepaste D75+AR glas van Horti Glass International heeft een haze-factor 75 en een hemisferische lichtdoorlatendheid van 88%.

De belangrijkste boodschappen die middels de kassen van het vernieuwde IDC zal worden uitgedragen om de genoemde ambities te kunnen bereiken zijn:

- Stem het kasklimaat af op de behoefte van de plant.
- Hou de kas in het stookseizoen zoveel mogelijk gesloten middels actieve ontvochtiging met terugwinning van voelbare en latente warmte.
- Maak slim gebruik van schermdoeken met verschillende eigenschappen.
- Gebruik luchtbeweging om op een veilige manier een hoge luchtvochtigheid aan te kunnen houden. De hoge luchtvochtigheid kan de verdamping tijdens het stookseizoen minimaliseren.
- Kassen zijn uitstekend geschikt voor de benutting van laagwaardige warmte. De IDC kassen zijn van een zodanig verwarmingssysteem voorzien dat er zelden water dat warmer is dan 40 °C nodig is en nooit water dat warmer is dan 50 °C.
- Baseer de verwarming op de warmtepomp met een kleine WKK (ordegrootte 50 tot 150 kW per ha) want deze combinatie staat voor de hoogste omzetting efficiëntie van primaire energie naar economisch waardevolle commodities (warmte en koude, elektriciteit en CO₂ voor de gewasgroei).
- Maak zoveel mogelijk gebruik van zonlicht, maak het zonlicht diffuus, zodat het efficiënter door de plant kan worden benut. Hiermee zal de energie-efficiency stijgen en de investeringen sneller kostendekkend worden.

Figuur 3 toont hoe het energiesysteem er dan uit ziet.



Figuur 3 Opzet energiesystemen om tot minimale inzet van primaire brandstof te komen.

2.3 Alternatieve ontwikkelingen

Naast de systemen die op het IDC Kas als Energiebron worden beproefd, zijn er nog een aantal andere ontwikkelingen binnen Het Nieuwe Telen relevant. Deze zijn gericht op het nog beter isoleren van de kas en het nog efficiënter en/of goedkoper ontvochtigen van de kas. Zonder daar diep op in te gaan, en zonder volledig te willen zijn, kunnen de volgende onderzoeken vanuit Kas als Energiebron worden genoemd:

- Schermen: ontwikkeling van nieuwe schermmaterialen, schermconfiguraties en ophangsystemen. Traject waar Wageningen UR Glastuinbouw en TNO reeds verkennende en ontwerpende studies voor hebben verricht, zie o.m. (Zwart *et al.* 2010).
- Drogen van kaslucht met hygroscopisch zout, o.a. (Raaphorst 2013). Resultaten tot nu toe laten zien dat de prestaties van ontvochtigen met zout redelijk vergelijkbaar zijn met de hiervoor geschetste methode van "Next generation semi gesloten kas". Drogen met zout gaat iets beter bij gemiddelde temperaturen zoals bij tomaat; Next Generation werkt iets beter bij hogere temperaturen zoals bij phalaenopsis.
- Drogen van kaslucht met buitenlucht met behulp van (verticale) ventilatoren door het scherm, o.a. (Weel 2013). Dit systeem is ontwikkeld in een potplantenteelt (Phalaenopsis), en wordt inmiddels beproefd bij snijbloementeelten (gerbera en roos). Proeven bij hoog opgaande groentegewassen (tomaat en komkommer) worden voorbereid.

3 Belichte rozenteelt

3.1 Referentie

Voor de belichte rozenteelt is gekozen voor het ras 'Red Naomi!'. Red Naomi! was in 2011 na de witte Avalanche+ de belangrijkste in Nederland geteelde rozencultivar qua omzet en volume bij Flora Holland (Turenhout 2012). Red Naomi! is een grootbloemige rode roos, veredeld door Schreurs, met een knophoogte van 4,5 tot 5 cm, een steellengte tussen de 60 en de 90 cm en een productie van 200 tot 240 stelen per m² per jaar op een modern Nederlands bedrijf (Schreurs).

Bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk zijn in de seizoenen 2010-2011 (García Victoria and Kempkes 2012) en 2011-2012 (García Victoria *et al.* 2012) rozen 'Red Naomi!' geteeld. In beide projecten is er een afdeling aangehouden, waar er conform de praktijk is geteeld. Deze werkwijze werd gecontroleerd en waar nodig bijgestuurd door een Begeleiding Commissie Onderzoek (BCO), waarin telers van 'Red Naomi!' vertegenwoordigd waren.

De kwaliteit zoals die in de proeven is behaald, is door de BCO als niet afwijkend ten opzichte van de praktijk gezien. Ook de houdbaarheid van de rozen uit de proeven week niet af van die uit de praktijk, zoals bleek in de houdbaarheidsproeven waarbij rozen van één van de telers uit de BCO als vergelijking zijn meegenomen. In de tweede proef werden in een ½ jaar 113 takken van gemiddeld 55 gram geoogst. Ook dit productiecijfer is vergelijkbaar met wat er in de praktijk behaald wordt (zie opgave van Schreurs).

Met name de teelt van seizoen 2011-2012 heeft de dataset opgeleverd met klimaatinstellingen en energiegebruik, die gebruikt is om de referentieteelt te beschrijven. De setpoints voor het kasklimaat (verwarming, ventilatie, belichten, schermen, etc.) zijn in bijlage I weergegeven. Bijlage II toont de resultaten van de validatie van het klimaatmodel met de gebruikte setpoints.

Met de setpoints van de referentie, wordt jaarrond ongeveer 4000 uur belicht met een belichtingsintensiteit van 170 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$. Dit zorgt voor een elektragebruik van ongeveer 500 kWh/m². Het aandeel van de lampen aan de totale lichtsommen in de kas varieert gedurende het jaar. In de donkerste weken in december en januari is het aandeel van de assimilatiebelichting aan de totale daglichtsom op weekbasis meer dan 50%. Op dagbasis kan dit zelfs oplopen tot meer dan 80%. Van 1 mei tot 1 augustus wordt niet belicht.

De schaduwsschermen worden gedurende 350 uur gebruikt. In de kas resulteren deze strategieën voor belichten en schermen in een jaarlichtsom van 5219 Mol/m² in de referentiekas.

Het verwarmen van de kassen met het onder-net (buis-rail verwarming) vraagt ca. 550 MJ/m².

3.2 Ambitie

In deze studie is als ambitie gekozen, om een belichte rozenteelt te ontwerpen waarin met 50% elektriciteit voor belichting ten opzichte van de genoemde referentie wordt geteeld. De energie die benodigd is voor belichting, is dominant in het totale energieplaatje voor de rozenteelt in Nederland. Met andere woorden: de grootste slag qua energiebesparing zal gemaakt worden door te besparen op elektriciteit voor belichting. Hoewel er nog een aanzienlijke hoeveelheid energie voor verwarming wordt gebruikt (minimum buis wordt in de referentie op 40°C gehouden), en ook de CO₂ concentratie hoog wordt gehouden.

3.3 Analyse kader

Van het stappenplan van de 'Trias energetica' voor de energietransitie, hebben we in onderhavig project ons gericht op de 1^e stap: ontwerpen van maatregelen en technieken die de energievraag van het systeem helpen te verlagen. Of eigenlijk: die het mogelijk maken om aan de gestelde randvoorwaarde van behoud van rendement te voldoen bij een gelimiteerde hoeveelheid energie. Hierbij hebben we nog geen aandacht besteed aan de herkomst van de energie: fossiel of duurzaam (stap 2 uit de 'trias energetica').

Cruciaal in het concept van belichte teelten, is dat het schaarse licht optimaal wordt omgezet in waardevolle producten. Dit kan in de volgende stappen verdeeld worden:

1. Maximaal gebruik maken van natuurlijk licht.
2. Zoveel mogelijk mol PAR-licht uit een kWh elektriciteit.
3. Maximaliseren van de onderschepping van iedere mol lichtenergie door het gewas.
4. Maximaliseren van de hoeveelheid assimilaten per onderschepte mol.
5. Maximaliseren van de productie van waardevol product (bloemen) per geproduceerde eenheid assimilaten.

In brainstormsessies en één-op-één gesprekken met deskundigen zijn ideeën verzameld. De ideeën kunnen grofweg in twee klassen getypeerd worden:

- Ideeën die technisch van aard zijn.
- Ideeën die gewasfysiologisch van aard zijn.

Bij de verschillende ideeën zijn een aantal vragen gesteld:

- Waarom wordt er momenteel in de praktijk geteeld zoals er geteeld wordt, wat zijn de belemmeringen die het geformuleerde idee in de weg staan?
- Welke oplossingen kunnen bedacht worden, om deze belemmeringen op te heffen?

De verzamelde ideeën zijn in de volgende paragrafen onder de boven genoemde stappen gevoegd.

3.4 Zoveel mogelijk natuurlijk licht benutten

De eerste stap in de "lichtomzettingsketen" is het maximaliseren van de hoeveelheid natuurlijk licht, licht van de zon, in de kas. Dit is vooral in de perioden dat er weinig natuurlijke straling beschikbaar is, de winter, van belang. Daarvoor zijn in ieder geval de volgende mogelijkheden voorhanden:

1. Kasontwerp optimaliseren op het maximaal in de kas krijgen –en houden- van zonlicht, met name voor perioden dat er weinig licht beschikbaar is.
2. Toepassen van gecoat diffuus glas.
3. Minder zonlicht wegschermen.
4. Lichtintegratie.

3.4.1 Kasontwerp optimaliseren

In Nederland zijn de gemiddelde stralingssommen in de winter tien keer lager dan in de zomer; licht is dan over het algemeen de beperkende factor voor de gewasgroei en productie. Het is dus van belang om juist in de winter elke joule aan stralingsenergie in de kas op het gewas te krijgen. Dit wordt mede door de kasconstructie en de kasomhulling bepaald. Hierbij spelen de volgende aspecten een rol:

- Structuur van de kas (constructie elementen, oriëntatie, hellingshoek en of vorm van het kasdek – symmetrisch of asymmetrisch –);
- Inrichting van de kas (installaties in het dak);
- Kasdek materiaal (basismateriaal, aangebrachte coatings, diffuse structuur – zie ook hieronder –).

Het meest gebouwde kastype in Nederland is de Venlokas. De afmetingen van constructie elementen is in de laatste decennia geoptimaliseerd. Glasafmetingen zijn steeds groter geworden, dat was mogelijk door de toepassing van gehard glas. Door verdere optimalisatie van de constructie elementen van een Venlo-kastype is nog maar marginaal lichtwinst te halen.

(Janssen *et al.* 2006) hebben bepaald dat een dakhelling van 22 tot 26° optimaal is voor Venlo kassen in Noord-West-Europa. Echter, deze berekeningen zijn uitgevoerd met helder floatglas, en er is rekening gehouden met constructieve randvoorwaarden. De nieuwe standaard lijkt diffuus glas te worden (zie hieronder), en ook coatings geven nieuwe mogelijkheden voor optimalisatie. Onder meer op het IDC Kas als Energiebron zijn asymmetrische daken getest en gedemonstreerd, met een lange zijde op het zuiden (zonwindkas; daglichtkas). Kunststof kasomhullingen (bijvoorbeeld F-Clean) bieden nog meer mogelijkheden voor alternatieve kasdekvormen, bijvoorbeeld gebogen.

Het gebruikte kasdek materiaal dient een zo hoog mogelijke hemisferische transmissie te hebben. De wintermaanden worden immers gekenmerkt door weinig zonuren en kleine hoeken van inval van direct licht. Het basismateriaal voor het kasdek moet daarom een zo hoog mogelijke transmissie hebben (low-iron ipv traditioneel glas). De toevoeging van een anti-reflectie coating zorgt additioneel voor een verhoogde lichtdoorlatendheid. Aan elke kant van het materiaal kan een coating worden aangebracht, waardoor de lichttransmissie met 2-4% per kant toeneemt. Daarnaast zouden coatings en kasontwerpen ontwikkeld kunnen worden, die de transmissie juist bij kleine hoeken van inval vergroten.

3.4.2 Toepassen van diffuus glas

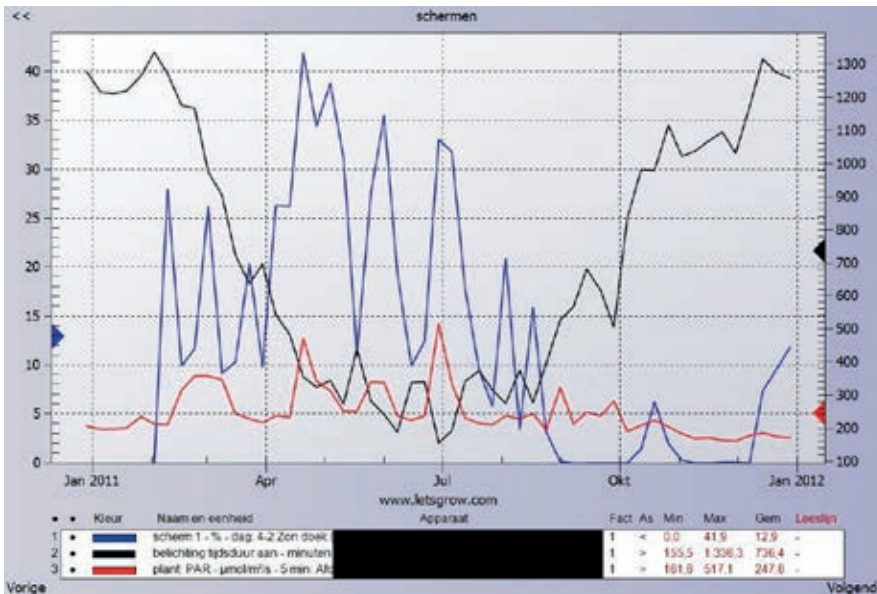
De afgelopen jaren zijn er ervaringen opgedaan met de toepassing van glas dat direct zonlicht diffuus maakt, en waarbij door het gebruik van Anti Reflectie (AR) coatings de lichttransmissie van het glas niet onderdoet voor dat van gewoon tuinbouw glas. In onderzoek is onder meer ervaring opgedaan bij tomaat (Dueck *et al.* 2012) en komkommer ((Janse *et al.* 2012); (Dueck *et al.* 2009)). Bij deze hoogopgaande vruchtgroente gewassen zijn meeropbrengsten tot wel 10% gerapporteerd. De reden voor de meeropbrengst wordt gezocht in de volgende effecten:

- Een betere verdeling van het licht over het gewas, waardoor ook lagere bladlagen fotosynthetisch actief blijven. De fotosynthese efficiency is op lagere lichtniveaus hoger (één blad met veel licht produceert minder assimilaten dan twee bladeren die de helft van het licht krijgen) waardoor de totale assimilatiesom kan toenemen.
- Daarnaast levert diffuus glas minder snel lichtstress op, vanwege een gelijkmatiger verstrooiing van het licht. Dit blijkt onder meer uit een lagere bladtemperatuur en minder bladverbranding.
- Bij hoge instralingsniveaus kan bij normaal glas fotoinhibitie optreden met een verlaagde fotosynthese tot gevolg; bij diffuus glas werd er geen fotoinhibitie waargenomen.
- Standaard glas in natte toestand ondervindt een verlies in lichttransmissie van 3-5% ten opzichte van het droge glas; diffuus glas met structuur kan haar transmissiewaarde ook als er condens aanwezig is behouden (Stanghellini *et al.* 2010). Grote delen van het jaar is het kasdek nat vanwege condens of regen. (Janse *et al.* 2012) vonden inderdaad een hogere lichttransmissie in de kas met diffuus structuurglas, terwijl in het laboratorium beide soorten glas onder droge omstandigheden dezelfde transmissie hadden, en ook veel meer condens; wellicht loopt condenswater op een structuurglas moeilijker af naar de condensgoot dan bij niet gestructureerd glas. De hypothese is dat er een waterfilm in plaats van druppels ontstaat waarbij het condenswater langer aan diffuus glas blijft hangen vanwege de structuur van het glas. Door de waterfilm is de lichttransmissie hoger dan bij druppel vorming. Dit is afhankelijk van de manier waarop een ruit diffuus is gemaakt: walsen van piramide structuur, zandstralen, etsen, etc.

In de periode augustus 2010 - september 2011 heeft Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk het effect van diffuus glas, met dubbelzijdige AR coating, op de productie en energiegebruik van roos 'Red Naomi!' onderzocht. (García Victoria *et al.* 2012). Vergeleken met normaal helder tuinbouwglas werden onder het diffuse glas 5,2 % meer bloemtakken geproduceerd, de versproductie was zelfs 6,1 % hoger (langere en zwaardere takken). De onderzoekers verklaren dit effect voor een deel door bij hogere stralingsniveau's te schermen (700 i.p.v. 600 W/m²). Schermen bij rozen als Red Naomi! heeft een belangrijk kwaliteitsdoel: te veel zonlicht levert blauwverkeuring van de bloem op en verbranding van jonge blaadjes. De betere lichtverstrooiing onder diffuus glas maakt het mogelijk hogere lichtniveaus aan te houden, voordat deze effecten optreden.

3.4.3 Minder zonlicht wegschermen

Op moderne rozenbedrijven wordt in grote delen van het jaar zowel geschermd als belicht. Zie ter illustratie onderstaand figuur. Deze grafiek toont voor een praktijkbedrijf voor het jaar 2011 de gerealiseerde hoeveelheid belichting en scherming met het zondok. Te zien is dat het scherm in de periode februari – april regelmatig wordt dichtgetrokken, terwijl er in die periode nog veel belicht wordt. Ook in de zomer wordt er nog behoorlijk belicht maar ook geschermd.



Figuur 4 Schermen, belichten en inzet van een minimumbuis op een praktijkbedrijf.

De volgende argumenten worden voor dit vele schermen aangegeven: bladverbranding; slap gaan door te hoge verdamping, soms ook gevolgd door kromgroeien van de stelen; verkleuringen aan de bloemen of de bladeren; te kleine bloemknoppen vaak gekoppeld aan te korte en te dunne stelen.

Om een lichtefficiënt alternatief te bieden voor het wegschermen van instraling, is het belangrijk om te weten hoe het mechanisme van onder meer blauwverkleuring en bloemblad verbranding werkt. Op basis van opnamen met een thermische camera (zie Foto 1), is de hypothese geformuleerd dat dit door lokaal zeer hoge plantorgaan temperaturen komt. De foto laat zien dat de temperatuur van bloemknoppen kan oplopen tot 35°C, terwijl een verdampend (groen) blad een temperatuur van 22°C vertoont. Hogere temperaturen, tot ruim 42°C, zijn handmatig met een IR thermometer gemeten bij rozen knoppen in de zon. De knoppen warmen op door stralingswarmte van de zon. Ze beschikken niet over huidmondjes en kunnen dus niet via transpiratie afkoelen.



Foto 1 Temperaturen van gewasonderdelen en omgeving.

Een lichtenergie efficiënte oplossing kan liggen in het koelen van de kas in het algemeen, en het koelen van de gevoelige plantorganen (de bloemknoppen en de jonge blaadjes) in het bijzonder.

- Een energie-efficiënte methode van kasafkoeling is vernevelen (adiabatische koeling). De temperatuur van het gewas wordt dan door convectieve warmte overdracht getemperd. Verneveling kan ook een positief effect hebben op de vochtigheid van de kaslucht.
- Met behulp van luchtbeweging kan de temperatuur van de bloemknoppen en de jonge blaadjes via convectie gemakkelijker op het niveau van kastemperatuur gebracht worden. In het onderzoek naar diffuus glas bij roos (García Victoria en Kempkes, 2012) is met een handventilator een luchtstroom van 1 m/s gemaakt rondom de knop. De afkoeling, afhankelijk van de blaastijd, varieerde tussen 0,5 en 5 graden. Na het blazen met de ventilator gedurende 4 minuten was de warmste plek in de knop van meer dan 35°C tot ongeveer 29 graden gedaald zonder dat instraling en de kastemperatuur veranderden.

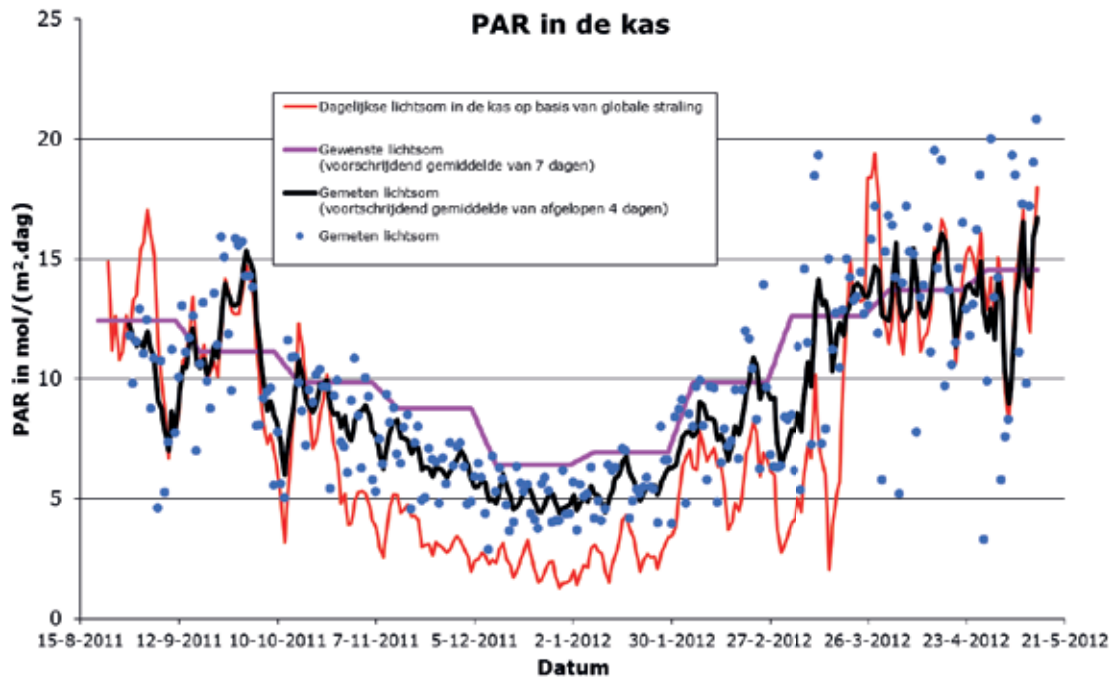
Een in potentie bijkomend voordeel van het kunnen koelen van de kas (met adiabatische koeling, maar eventueel ook met mechanische koeling) is dat de temperatuursom beheerst kan worden in relatie tot de lichtsom.

Bij toepassing van OPAC koelers in het experiment project "Perfect roos-Energiezuinig geteeld" werd echter niet gevonden dat de schermen bij een hogere instraling gesloten konden worden. De OPAC koelers geven een forse luchtstroom rond de knop, toch trad er wel verkleuring van de randen van de bloem op. Ook het diffuse glas dat in deze proef wordt gebruikt leidde niet tot een andere schermstrategie.

3.4.4 Lichtintegratie

Belichtingsplanning kan gedefinieerd worden als het afstemmen van de hoeveelheid bij te belichten PAR energie aan de hoeveelheid licht dat een gewas over een wat langere periode heeft gehad en naar verwachting zal gaan krijgen. Bij lichtintegratie wordt gekeken naar de lichtsom van de afgelopen dagen en de verwachte lichtsom voor de komende dagen. Samen met de benodigde hoeveelheid licht wordt de nog benodigde hoeveelheid additioneel licht berekend, eventueel in combinatie met de plantbelasting. Door doelgericht met de inzet van assimilatiebelichting naar een vooraf bepaalde lichtsom te sturen kan de plant zorgvuldig op een bij dat lichtniveau passende toestand worden gebracht. In plaats van de sterk wisselende en vooraf onbekende lichtsommen die met een standaard aan/uit schakel recept worden gerealiseerd wordt het lichtaanbod lager, maar voorspelbaar, waardoor de plantbelasting optimaal naar dat lichtaanbod kan worden gestuurd. Deze aanpak is succesvol beproefd bij gerbera beproefd in Het Nieuwe Telen (Gelder *et al.* 2011). Het wordt in het seizoen 2012-2013 beproefd bij potplanten (project "Grip op licht", (Noort Persoonlijke communicatie), tomaat (Dueck *et al.* 2013) en roos (project "De perfecte roos, energiezuinig geteeld", (Gelder Persoonlijke communicatie)). Bij de potplanten Bromelia en potanthurium wordt gestreefd naar een lichtsom van 35 mol/week waarbij door het toelaten van meer natuurlijk licht minder hoeft te worden bijbelicht. Compensatie van tekorten (dagen van heel weinig licht) is binnen de week toegestaan. Middels een "belichtingsplanner" wordt bepaald wanneer te belichten op basis van de weersvoorspelling en de na te streven niveaus.

De volgende figuur illustreert de werking van de belichtingsplanning.



Figuur 5 Belichtingsplanning bij gerbera (Gelder 2013).

Lichtintegratie lijkt bij roos ook perspectief te bieden voor energiebesparing. Voor de roos "First Red" is hiervoor veel onderzoek gedaan in het kader van "Fasegestuurde rozenteelt" (Eveleens *et al.* 2004), met gesynchroniseerde (d.w.z., alle bloemtakken in het gewas in dezelfde ontwikkelingsfase) planten. Het bleek dat lage lichtniveaus tijdens de (relatief korte) fase van takstrekking, (vanaf dat de uitgelopen scheut 2 cm is totdat de knop zichtbaar is) leiden tot lichtere takken dan hogere lichtniveaus. Dit kwaliteitsverlies kon worden gecompenseerd met hoge licht niveaus tijdens de rijpingsfase. Dit is de langste fase van de teelt: het beslaat de periode vanaf het moment dat de knop zichtbaar is tot de oogst van de bloem. Roos is in deze fase heel gevoelig voor de gemiddeld ontvangen lichtsom: het duurt bij ontvangen daglichtsommen van 10 mol/m² 4 dagen langer dan bij 16 mol/m² dag.

Het lichtniveau tijdens de strekkingsfase mag echter, zo bleek uit deze proeven, niet lager zijn dan 4 mol/m² dag, om loosvorming te voorkomen (zie ook 3.8). Bij lichtniveaus lager dan 11-12 mol/m² dag is er tevens een hogere temperatuursom nodig om deze fase af te ronden.

3.5 Zoveel mogelijk mol PAR per kWh elektriciteit

De tweede stap in de lichtketen, is het maximaliseren van de voor de fotosynthese van de plant nuttige energie (mol PAR licht) uit een eenheid elektriciteit (kWh). Het gaat hier dus vooral om de efficiëntie van omzetting van energie. Hieronder vallen de volgende mogelijkheden:

- Efficiëntere lampen.
- Efficiëntere systemen met minder omzettingsverliezen.

3.5.1 Efficiëntere lampen

3.5.1.1 SOX

Er bestaat een lamp met een hoger lichtrendement dan de SON-T lamp (hogedruk natrium lamp): de SOX lamp (lagedruk natrium lamp). Reeds in de jaren '90 is er onderzoek gedaan naar toepassing van SOX lampen in de glastuinbouw. Een groot bezwaar van de SOX lamp is dat deze alleen monochromatisch geel licht geeft. In het lichtspectrum van deze lamp ontbreken essentiële golflengten voor een goede groei en ontwikkeling van planten.

Indertijd was dit een probleem. Door het beschikbaar komen van LED's met specifieke kleuren zoals blauw, rood en verrood, kan er gericht worden bijbelicht, en zou dit probleem te verhelpen zijn. Een ander nadeel van de SOX lamp is dat deze alleen in grote armaturen gebruikt kan worden, wat nadelig is vanwege de onderschepping van zonlicht. Fabrikanten ontwikkelen dit type lamp niet meer door.

De meest efficiënte SOX lamp die commercieel verkrijgbaar is, is de SOX-E 131W lamp die 26200 lumen geeft. Dit is 200 lm/W. (Er is een grotere SOX lamp van 180 W versie, maar die heeft 176 lm/W). De referentie SON-T greenpower van 600 Watt geeft 87500 lumen. Dit is 145 lm/W. Dus SOX geeft circa 30% meer lm/W dan SON-T. (De aanname hierbij is dat als gegeven is dat een lamp 600 Watt is, dat dat de hoeveelheid elektriciteit is die verbruikt wordt). Voor de omrekening naar verhouding in molen is gebruik gemaakt van de ooggevoeligheidscurve. Het rendement van de lichtkleur groen (ca. 550 nm) is voor het menselijk oog het hoogst (waarde 1). Voor 450 en 650 nm is het rendement ca. 0.05 (lineair geïnterpoleerd). Een SOX lamp straalt licht uit met een golflengte van ongeveer 590 nm, het rendement bij deze golflengte is ca. 0.62. Het spectrum van de referentie SON-T lamp (zoals in het project spectrale fotosynthese-efficiëntie is gebruikt, (Snel *et al.* 2011)), heeft een gemiddeld rendement van ongeveer 0.5. Een mol SOX licht geeft dus ongeveer 20% meer lumen dan een mol SON-T licht. Op basis hiervan verwachten we dat het verschil in conversie-efficiency van elektriciteit naar mol circa 10% hoger is voor SOX dan SON-T.

Kijken we naar het relatieve quantum yield van groene rozenbladeren (actiespectrum van blad voor fotosynthese), dan ligt de efficiency van beide lampen dicht bij elkaar (0.81 voor SON-T t.o.v. 0.85 bij SOX-E. Dus circa 5% gunstiger voor SOX dan SON-T). Voor dit spectrum is rode LED efficiënter, met een relatieve quantum yield van 1.

De aannamen en berekeningen zijn vrij grof, het zou onder laboratorium omstandigheden gemeten moeten worden. Echter als het verschil SON-T -SOX maar 5 tot 10% zou zijn, dan lijkt LED een perspectiefvollere keuze gezien de verwachtingen ten aanzien van rendement en prijs de komende jaren.

3.5.1.2 LED

Voor specifieke toepassingen zoals in klimaatkamers en als tussenbelichting, worden LED's al regelmatig ingezet. Voor topbelichting is SON-T nog de standaard. Verschillende fabrikanten melden ontwikkelingen in zowel de LED lampen zelf die efficiënter worden, als de gehele lichtsystemen. Commercieel verkrijgbare systemen zouden al vergelijkbare tot iets betere rendementen behalen als SON-T (Anonymus 2012). Een fabrikant meldt toplicht met een efficiency van meer dan 2 $\mu\text{mol}/\text{W}$ te kunnen leveren. Een andere fabrikant claimt lampen te hebben ontwikkeld, die volgens laboratorium metingen minstens 17% efficiënter zijn dan SON-T lampen. Rode LED's zouden een rendement halen van 1400 μmol bij 600 W = 2.3 $\mu\text{mol}/\text{W}$ (Hock Persoonlijke communicatie). De beste SON-T lampen halen een rendement van 1.8 $\mu\text{mol}/\text{W}$, maar een praktische installatie op een tuinbouwbedrijf komt op 1.70 $\mu\text{mol}/\text{W}$. Een commercieel verkrijgbaar systeem met 95% rood en 5% blauw haalt 1,9 $\mu\text{mol}/\text{W}$ (alles toplicht). De 2,3 $\mu\text{mol}/\text{W}$ komt dichtbij het beste wat men verwacht aan rendement van LED's. Opgemerkt moet worden dat als deze lampen watergekoeld zijn, dit betekent dat er naast elektriciteit voor de belichting ook stroom voor de productie van koelwater nodig is. Indien de koeling met een warmtepomp wordt gerealiseerd waarvan de warmte nuttig kan worden gebruikt geeft deze koelingsbehoefte een beperkt nadeel, maar als de vrijkomende warmte niet nuttig te gebruiken wordt de efficiencywinst van de gekoelde LED's vrijwel volledig tenietgedaan door het stroomverbruik van de koelwaterproductie. In dat laatste geval is de systeemperformance van een watergekoeld systeem vergelijkbaar met een luchtgekoeld lichtstelsel.

Naast de toepassing voor assimilatielicht, bieden LED's door de selectieve golflengtes grote mogelijkheden in de toepassing als stuurlicht. Hier komen we later op terug.

3.5.2 Belichtingssystemen met minder omzettingsverliezen

Belichtingssystemen op basis van gelijkstroom zouden 3 tot 5% efficiënter omgaan met elektriciteit, dan systemen die op wisselstroom werken. Door gelijkspanning toe te passen in de hele infrastructuur van de kas kan dit oplopen naar in totaal 10% energiebesparing. Dit ten opzichte van de huidige situatie voor wisselspanning toegepast wordt. In elk armatuur wordt de wisselspanning omgezet in gelijkspanning. Dit brengt energieverlies met zich mee en extra onderdelen per armatuur. Door de omzetting centraal te regelen, wordt op elektriciteit bespaard (Anonymous 2010).

Een kritische kanttekening bij deze berekening. De lampen zijn verreweg de grootste energieverbruiker. De overige grote verbruikers zijn pompen en aandrijvingsmotoren en die draaien het beste op wisselstroom. Bovendien is die 3 tot 5% nogal veel. De voorschakelelectronica gaat half zoveel stroom gebruiken bij gelijkstroom. De voorschakelelectronica gebruikt 30 W, ofwel 3% van een 1000 Watt SON-T. Halvering hiervan betekent dus 1.5% besparing. Er zit ook nog wat besparing in de vermindering van transportverliezen, dus 3% lijkt plausibeler dan 10%.

Daarbij komt nog dat gelijkstroom gemaakt moet worden uit de wisselstroom die het bedrijf binnen komt. Met die conversie verlies je die 3% wellicht weer.

3.6 Zoveel mogelijk mol PAR onderscheppen

3.6.1 LAI

In de teelt van roos wordt gedurende 4 tot 5 jaar met dezelfde planten gewerkt. Gedurende deze periode wordt door telers gestreefd naar een hoge bedekking van de teeltoppervlak met blad, uitgedrukt als de LAI (leaf area index). Bij roos kan 86% van de productie verklaard worden door lichtonderschepping (Kool 1996). In de huidige praktijk is er slechts een relatief korte periode in de teelt (de start van een nieuwe teelt) dat de lichtonderschepping niet optimaal is, vanwege een te lage Leaf Area Index waardoor relatief veel licht onbenut op de grond valt. Deze periode duurt ca. drie maanden. De lichtonderschepping in deze periode zou op de volgende wijze verbeterd kunnen worden.

- In de opkweek van groentepplanten is ervaring opgedaan met het inzetten van stuurlicht voor het beïnvloeden van de plantvorm (minder zelfbeschaduwing) en bladoriëntatie, en daarmee de snelheid van de groei van de plant. (Hogewoning *et al.* 2012) rapporteren een 15% tot 21% snellere opkweek bij respectievelijk tomaat en komkommer onder een combinatie van rood/blauw/verrood licht (met LEDs) ten opzichte van SON-T. Als (goedkoper) alternatief stellen ze een combinatie van SON-T met verrode leds voor, waarmee vergelijkbare voordelen te behalen zouden zijn.
- Opkweekmethode waarbij de jonge planten relatief lang dicht bij elkaar gehouden worden, en pas bij voldoende LAI op eindafstand worden gezet. Dit kan volgens de "verlengde opkweekmethode" (Garcia Victoria *et al.* 2007), met speciale substraatmatten ('single production units' SPU® Grodan) in combinatie met synchrone stekmethode (Eveleens *et al.* 2002). Met de verlengde opkweekmethode is de periode van onvolledige bedekking van het teeltoppervlak door bladoppervlak met 6 tot 8 weken terug te brengen. De planten staan weliswaar langer bij het stekbedrijf, en worden daar ook belicht, maar in veel grotere dichtheden dan bij de rozenkweker.
- Rassen die efficiënter met licht omgaan. Uit het onderzoek "Plantenpaspoort roos" (Schapendonk *et al.* 2009) bleken verschillende cultivars in verschillende mate van efficiëntie licht om te zetten in grammen versgewicht roos. Deze lichtbenuttingsefficiëntie geeft in een parameter het resultaat weer van alle, wat de auteurs noemen, "sleuteleigenschappen". Lichtonderschepping, met als onderliggende parameters LAI, flushduur en plantbalans en bladdikte SLA, is een van deze sleuteleigenschappen.

3.6.2 Belichting tussen het gewas

Een andere manier om assimilatielicht beter te kunnen onderscheppen, is het toepassen van tussenlicht. In de tomatenteelt is hier ervaring mee opgedaan, met name in de toepassing van hybride belichting (SON-T topbelichting in combinatie met LED tussenbelichting). Het effect van tussenbelichting stoelt op een vergelijkbaar principe als bij diffuus glas: meerdere bladlagen kunnen voor hun fotosynthese gebruik maken van licht, waardoor per saldo de gewasfotosynthese hoger is dan wanneer alleen de bovenste bladlagen het licht onderscheppen.

In het project "Perfecte Roos- Energie zuinig geteeld" was in de zomer de ervaring dat LED tussen belichting weinig tot geen extra productie gaf. Pas in de maanden november, december werd gezien dat de LED belichting tot extra groei leidde.

3.7 Zoveel mogelijk assimilaten uit een mol PAR

3.7.1 Belichten als de plant er klaar voor is

Als er een beperkte hoeveelheid belichtingsenergie beschikbaar is, lijkt het plausibel om dat in te zetten op momenten dat de fotosyntheserespons op licht het hoogst is. En andersom: de belichting uit te zetten als de fotosynthese terug loopt. Aan de relatie tussen fotosynthese, belichting en andere (klimaat) omstandigheden is het nodige onderzoek verricht, voor roos onder meer door (Dueck *et al.* 2007).

Fotosynthese en huidmondjes opening correleren niet voor 100%, maar het is evident dat de fotosynthese bij volledig gesloten huidmondjes lager is dan bij geopende. Rekening houden met factoren die de huidmondjesopening beïnvloeden kan bijdragen aan een betere benutting van licht. Voorbeelden van factoren die de huidmondjesopening negatief beïnvloeden, zijn bespuiting met gewasbeschermingsmiddelen en massaal inbuigen. Gedacht kan worden aan niet of minder belichten na het (massaal) inbuigen in het gewas. Na bespuiting met een insecticide zou zelfs overwogen kunnen worden om niet te belichten.

3.7.2 Fotosynthese en andere plantprocessen sturen met lichtkleuren

3.7.2.1 Blauw licht

De huidige generatie lampen vertonen het effect dat met name 's nachts bij het aanzetten van het licht de verdamping (te) langzaam op gang komt. Dat is te zien aan de hand van de volgende temperatuuroptnamen die met 5 minuten interval gemaakt zijn vanaf 0:00 uur 's nachts na het inschakelen van het kunstlicht, foto 2. Deze opnamen betreffen een periode van een uur. In die beelden is de omgeving (de kaslucht) steeds blauw. De overige kleuren zijn altijd warmer dan de kaslucht. Daaruit blijkt dat het blad na het aanzetten van het licht langzaam opwarmt. Overdag wanneer de zon schijnt is het blad juist altijd kouder dan de kaslucht als gevolg van koeling door verdamping. We verwachten dat dit komt doordat de huidmondjes gesloten blijven. Dit fenomeen zou mogelijk geweten kunnen worden aan een (te) klein aandeel blauw licht waarvan bekend is dat dit de opening van huidmondjes stimuleert.

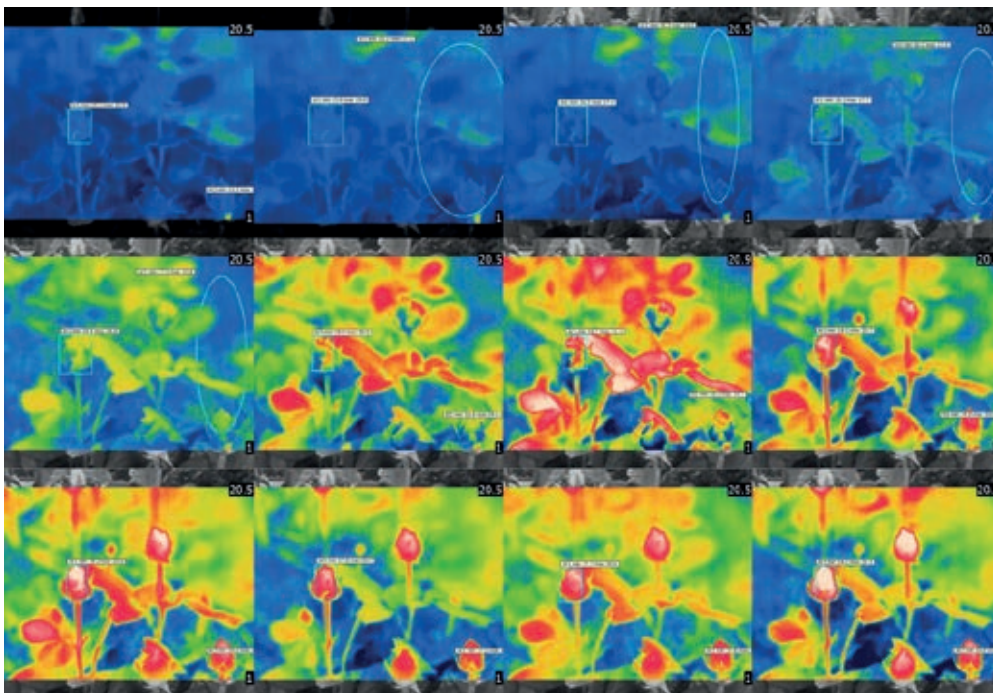


Foto 2 Temperatuuroptnamen van het gewas na opstarten belichting tussen 0:00 en 01:00 met een interval van 5 minuten.

Zoals gezegd mag vanwege de relatie tussen huidmondjesopening en verdamping enerzijds met huidmondjesopening, CO₂ opname en fotosynthese anderzijds, verondersteld worden dat in de genoemde periode de fotosynthese beperkt is, en dat het effect van de belichting in die periode dus niet optimaal is. Bijbelichten met blauw (LED) licht zou de huidmondjesopening kunnen bevorderen, en daarmee het effect van belichting vergroten.

3.7.2.2 Rood licht

Aan het gebruik van rood licht bij roos zijn in de recente literatuur diverse voordelen toegeschreven.

Meer fotosynthese capaciteit door het gewas

Rood licht is het meest efficiënt voor de bladfotosynthese (Snel *et al.* 2011). Rood LED licht (ca. 645nm) was in groene bladeren maximaal 13% efficiënter dan SON-T licht. Bij de rode bladeren van de roos cultivar Prestige was het rode LED licht zelfs tot 35% efficiënter (momentane bladfotosynthese bij een belichting met 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (PAR)). De resultaten zijn niet eenduidig, maar geven aan dat rood LED licht meer fotosynthese kan opleveren, het meest bij rozencultivars met rode bladeren.

Meer fotosynthese geeft aan dat het mogelijk is om meer productie te bereiken, maar de planten moeten ook in staat zijn om de fotosynthese in groei om te zetten. Dat is niet altijd het geval. In Belgisch onderzoek leidde het belichten met rode LED's bij de cultivar 'Avalanche' tot een toename in productie (aantal stelen), maar een afname in totaal geproduceerde biomassa (Blindeman 2011). Dit wordt toegeschreven aan het ontbreken van de stralingswarmte van de lampen in de winter. Bij het vervangen van SON-T door rode LED's zal aandacht gegeven moeten worden aan de gewastemperatuur om te kunnen profiteren van de hogere fotosynthese. Misschien moet parallel aan het gebruik van LED's de kasluchttemperatuur hoger worden ingesteld.

Verhoogde weerbaarheid en verlaagde aantastingsvermogen

Literatuuronderzoek en oriënterende proeven bij Wageningen UR Glastuinbouw (Hofland-Zijlstra *et al.* 2013) laten zien dat rood licht toegepast gedurende 4 uur in de nacht met een intensiteit van 75 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de aanmaak van eiwitten betrokken bij de plantweerbaarheid (glucanase) verhoogt. Dit verminderde de bladbedekking met meeldauw ten opzichte van controle planten, en de conidia, die zich onder het rode licht ontwikkelden, vertoonden een vermindering van het aantastingsvermogen. Als meeldauw, momenteel één van de grootste plantenziekten, kan worden voorkomen zonder gebruik van fungiciden geeft dit 10% minder productiederving door meer fotosynthese.

Positief effect op scheutuitloop

Onderzoek door (Wubs *et al.* 2012) toonde een licht positief effect van het lokaal belichten van okselknoppen met LED licht met een hoge rood / verrood ratio op scheutuitloop (aantal uitlopende scheuten) aangetoond bij een gewas op snee. Een positief effect op het ooguitloop van het rode licht kan een verklaring bieden voor het de hogere productie in het hierboven genoemde Belgische onderzoek. Overigens kunnen sommige cultivars zoals Avalanche teveel knopuitloop hebben, en kan extra knopuitloop ongewenst zijn.

In de praktijk is losbreken van het blad bij een oog een sterke stimulans voor het uitlopen van een oog; dit effect blijkt groter dan het effect van rood licht.

3.7.2.3 Verrood licht

Van het verrood licht is het bekend dat het onder andere de gewasstrekking stimuleert en de vertakking afremt. Dit kan resulteren in langere stelen. Bij roos (Bakker *et al.* 1997) waren ver-rood belichte stelen aan het einde van de dag in klimaatkamers 5-10% langer dan stelen belicht met SON-T. Beide effecten, strekking en vertakking, alsmede een positief effect op de droge stof gehalte van de bloemen zijn gebleken in onderzoek met Chrysant (Maaswinkel *et al.* 2012), waarbij het grootste effect bereikt werd wanneer de belichting met verrood werd toegepast vlak na de dagperiode (de eerste half uur van de nacht) .

3.7.3 Lichtrecept

Inzet van stuurlicht in een "lichtrecept" die de positieve effecten van de toepaste kleuren verdeelt over de dag benut, kan de belichtingsefficiëntie verhogen. Hypothetisch gezien ziet een efficiënt lichtrecept er als volgt uit:

- Starten in de na-nacht met blauw licht, in geringe intensiteit. Dit bevordert het openen van de huidmondjes.
- Daarna belichten met rood (LED) licht van fotosynthese intensiteit. Belichten met rood licht is energie efficiënt (zie de opmerking hierover in paragraaf 3.5.1.1), en heeft belangrijke neven effecten op weerbaarheid van de plant tegen ziekten. Daarna belichten met een efficiënte lichtbron (LED al dan niet in hybride opstelling met SON-T; zie paragraaf 3.5.1).
- Maximaal gebruik maken van zonlicht, slechts aanvullend belichten als dit volgens de lichtintegratie planning nodig is.
- De dag eindigen met verrood licht om gewasmorfologie (strekking) te sturen.

3.8 Optimale assimilatenverdeling

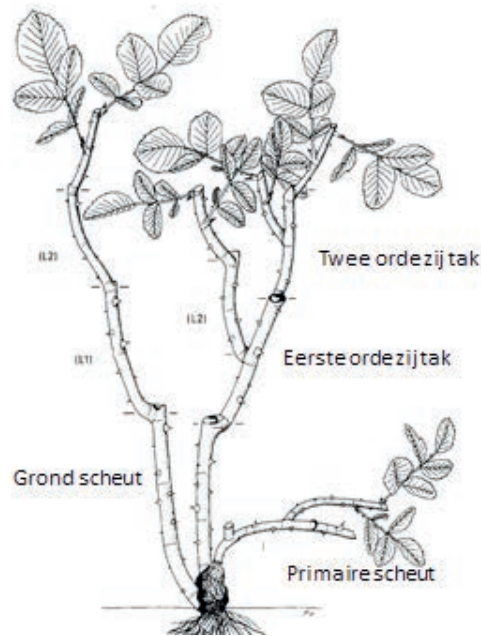
De laatste stap in de "lichtomzettingsketen", is die van de verdeling van assimilaten over de delen van de plant. Het is de opgave om een optimale hoeveelheid assimilaten naar de verkoopbare delen van de plant te sturen: zoveel mogelijk naar de verkoopbare rozentakken, en een minimaal noodzakelijke hoeveelheid naar de andere delen van de plant, om vijf jaar of meer een hoogproductief gewas te houden. De index die het gewicht van het oogstbare deel van het gewas als percentage van het totale gewicht van het gewas weergeeft, is de Harvest Index (HI). In de studies die leidden tot het proefschrift van Kool (Kool 1996), noemt hij HI van rond de 80%. In het 1^e jaar werd een lagere HI behaald (ca 70%), in de volproductieve jaren worden HI gerapporteerd van boven de 80%. Mede afhankelijk van de knipmethode: in de winter, als er onderdoor geknipt werd, werden er hogere HI behaald dan in de zomer.

Inmiddels zijn teeltmethoden geëvolueerd en het assortiment veranderd. De Harvest Index lijkt echter niet ingrijpend gewijzigd. In de recente proeven bij Wageningen UR in Bleiswijk werden van Red Naomi! in ½ jaar 113 takken van gemiddeld 55 gram geoogst. Dat is ca. 12,5 kg per m² per jaar. Aan de planten zaten gemiddeld 5 ingebogen takken zonder knop; dat heeft een versgewicht van minder dan 2 kg. De kale struik met wortels wegen ongeveer 600 gram tot 1 kg. Daarnaast wordt er "pluis" weggegooid. Bij elkaar zal het gewicht aan niet-geogste planten delen ca. 3 kg wegen. De Harvest Index komt dan uit op ongeveer 80%. Er lijkt dus nog wel wat ruimte te zitten tussen wat er aan biomassa gemaakt wordt en wat er aan oogstbare takken verkocht wordt, echter dit is ook weer niet zo heel veel.

3.8.1 Beschrijving huidige rozenteelt

Bij de start van de rozenteelt worden stekken gemaakt. Van de eerste scheut (primaire scheut) van de stek wordt de bloem uitgebroken en de steel ingebogen. Deze scheut dient als bron van assimilaten voor de uitlopende ogen, want die zijn in eerste instantie afhankelijk van assimilaten elders uit de plant. Als de eerste bladeren ontvouwen leveren die de assimilaten voor de verdere groei van de tak. De assimilaten van de primaire scheut zijn dan bijvoorbeeld beschikbaar voor wortel activiteit. Fysiologisch gezien dragen alle bladeren aan een struik bij aan de assimilaten pool voor de gehele struik ontwikkeling. De bijdrage van de verschillende bladeren is verschillend, afhankelijk van leeftijd, positie en lichtonderschepping. Aan de basis van de primaire ingebogen scheut lopen bij stekken twee nieuwe takken (grond of broekscheuten) uit die worden gebruikt voor de struik opbouw. Als deze takken oogstrijp zijn, worden ze zodanig afgeknipt dat een kort stukje tak blijft staan waarop in de oksel van een blad weer een nieuwe scheut kan uitlopen.

In de regel loopt er in de oksel van een blad en daarmee per grondscheut een nieuwe tak uit. De afstand tussen de knippunten is afhankelijk van de strategie van de teler, de tijd van het jaar etc. Als de struik te hoog wordt kan de teler besluiten om lager dan de plaats van het uitlopen de tak te knippen (onderdoor knippen). Het uitlopen van een oog duurt dan iets langer. Er kunnen op verschillende momenten ook meerdere ogen per scheut uitlopen. Dat is ras afhankelijk. Als een scheut geen goede bloem geeft wordt de tak ingebogen om als bron van assimilaten te dienen voor de uitlopende scheuten.



Figuur 6 Struikopbouw roos. *Figuur bewerkt uit (Kool and van de Pol 1993).*

Zolang de plant als individuele plant goed herkenbaar is, is goed te zien hoe de verhouding is tussen de ingebogen takken en uitlopende takken en zijn deze te onderscheiden. In een volgroeid gewas staan de scheuten van de planten door elkaar. Als kort na elkaar meerdere scheuten uitlopen kan de stengeldichtheid zo hoog worden dat door onderlinge beschaduwing de later uitlopende scheuten lichtgebrek krijgen, zwak ontwikkelen en uiteindelijk geen bloemknop vormen. In de rozenteelt is daardoor, in tegenstelling tot bijvoorbeeld de tomatenteelt, geen op de plant afgestemd snoei regiem mogelijk. Het vakmanschap bij de oogst is daardoor zeer bepalend voor de productie.

Om de productie te spreiden wordt door telers bij de start van een nieuwe teelt bewust in meerdere keren geplant zodat binnen een jong gewas verschillende stadia van ontwikkeling aanwezig zijn. Deze pragmatische aanpak is bedrijfseconomisch op dit moment het beste antwoord op de grote variatie tussen struiken en scheuten die in de teelt bestaat.

Om de LAI te verhogen, worden veel takken ingebogen. Het is de vraag of dit wel altijd zinvol is. Een ingebogen tak is immers geen verkoopbare tak, maar er zijn wel assimilaten in geïnvesteerd. De architectuur van het gewas is bepalend voor de lichtdoordringing en lichtverdeling. Een bezoek aan een willekeurige rozenkas in oktober/ november laat zien dat het grootste deel van de ingebogen takken het blad hebben laten vallen. Het feit dat er bij roos veel blad van het ingebogen bladpakket afvalt, is een teken dat het licht niet optimaal verdeeld wordt. Zeker als het natuurlijke licht afneemt in de overgang van de zomer naar de winter, kan een te dicht bladpakket (een te hoog LAI) resulteren in een hogere vraag naar suikers voor respiratie om het bladpakket te onderhouden, dan wat ze opleveren door hun bijdrage aan de fotosynthese van de plant. In onderzoek met gesynchroniseerde planten met slechts een ingebogen tak werden de langste en dikste takken verkregen na het in de herfst snoeien van de ingebogen tak. Blijkbaar was de ingebogen tak een sterkere sink dan source.

3.8.2 Alternatief gewasmanagement

Door alternatief gewasmanagement, met name snoei, zouden de problemen van een weinig gestructureerde plantopbouw (onregelmatige afstanden tussen takken, niet-uniforme uitgroei) wellicht getackeld worden. Het zou goed zijn als het inzichtelijk gemaakt kon worden wat de individuele planten zijn, om ze vervolgens ook als individuele planten te behandelen. Bij een aanpak die gericht is op een behandeling per struik wordt de variatie tussen planten kleiner, treden minder verliezen op en wordt er ook efficiënter belicht. In het verleden zijn pogingen ondernomen om met individuele planten te werken, maar die zijn vanwege technische, teelt technische of economische redenen niet succesvol geweest. Economisch is het niet rendabel om zeer geregeld (bijvoorbeeld eens per half jaar) met nieuwe stekken te beginnen. De stekken kosten geld, omdat die gemaakt worden van verkoopbare takken. De struikopbouw kost extra tijd en in die tijd kan er niet geoogst worden (Vermeulen and García 2009).

Het is dus een uitdaging om volwassen struiken als individuele planten herkenbaar en behandelbaar te maken. De volgende ideeën zouden daarvoor verder onderzocht kunnen worden:

- Beweegbaar systeem waarbij planten voor werkzaamheden uit elkaar worden getrokken.
- Verticale transparante schermplaten tussen planten (groeigebied van de plant afbakenen).
- Ruimere plantafstand hanteren.

3.8.3 Sink op source aanpassen

Voor gerbera is het concept "belichten naar behoefte van de plant" ontwikkeld (Gelder *et al.* 2011), (Gelder 2013). Uitgangspunt in die concepten is een gewenste gewasproductie, waarop de belichting wordt aangepast, gegeven de hoeveelheid natuurlijk licht en kunstlicht dat het gewas over een wat langere periode heeft gekregen en naar verwachting zal krijgen (zie ook de paragraaf over lichtintegratie). In dit concept voor roos is de situatie omgedraaid: er is een gelimiteerde hoeveelheid kunstlicht beschikbaar, en de opgave is om daar zoveel mogelijk rozen van een bepaalde kwaliteit mee te produceren.

Door middel van gewasmanagement wordt het aantal rozenstelen per m² per periode afgestemd op de verwachte hoeveelheid licht (som van natuurlijk licht en kunstlicht) in die periode. Basis vormt de verwachte hoeveelheid zonlicht in de komende periode, en de berekende hoeveelheid kunstlicht die op basis van de gelimiteerde beschikbaarheid op jaarbasis voor die periode beschikbaar is. Temperatuurstrategie en snoei-strategie (wegnemen i.p.v. inbuigen) worden hier op afgestemd. Met snoeien wordt ook gestreefd naar een optimale gewasarchitectuur met optimale lichtonderschepping.

Het gewasmanagement, met name snoeien, kan de volgende onderdelen bevatten.

- Teelt met relatief hoge plantdichtheid starten, na verloop van tijd dunnen. Na bijvoorbeeld een jaar worden planten tussen het gewas uit gehaald, waarbij op sterkte van de planten wordt geselecteerd.
- Minder takken inbuigen. In principe is de primaire scheut voldoende om gedurende lange tijd de assimilaten te leveren voor de groei van de plant. Onderzoek door De Hoog (Hoog 1998) liet zien dat door alleen de primaire scheut in te buigen 11% meer rozen (in kg) konden worden geoogst, dan door regelmatig in te buigen. Het gemiddelde takgewicht was wel enkele grammen lager, maar had mogelijk verder "gestuurd" kunnen worden door de mindere takken direct te verwijderen. Alleen als de bladeren door ziekte of veroudering niet functioneel blijven zijn nieuwe scheuten nodig.
- Blinde takken niet inbuigen, maar verwijderen. Een blinde tak inbuigen is gebruik maken van bladeren die gevormd zijn, zonder dat er een bloem op de tak zit. Dergelijke takken zitten vaak op een plek waar de groei minder goed is geweest. Voorkomen moet worden dat op deze ingebogen zwakke scheut slechte nieuwe scheuten uitlopen. Dit betekent niet minder inbuigen maar vooral opletten op ongewenste scheuten. Die moeten zo nodig uitgebroken worden. Telers ervaren dat takken die uitlopen op de okselknop van een weggeknipte blinde scheut vaak zelf ook blind worden. Om deze herhaaldelijke "verspilling van assimilaten" tegen te gaan zou het nuttig zijn om hierbij onderdoor te knippen.

- Andere takken inbuigen. Na de primaire scheut, de eerste (één of twee) grondscheuten inbuigen, zodat er een bredere basis (kapstok) ontstaat voor de opbouw van de plant dan nu het geval is. De eerste twee grondscheuten worden vaak niet voor productie gebruikt omdat ze erg verhout zijn, waardoor ze een slechte houdbaarheid hebben. Zie voorbeelden foto's:



Foto 3 Grondscheuten inbuigen.

- Beperken van het aantal stengels per m². Belangrijkste reden is voorkomen van minder goed ontwikkelende takken tussen het gewas. Deze takken worden bij lichtgebrek loos. Snoeien op een beperkt aantal stengels per m² is moeilijk uitvoerbaar als daar geen hulpmiddelen voor zijn. Vision technieken zouden een uitkomst kunnen bieden bij het bepalen van de scheutdichtheid, waarbij ze ter ondersteuning van het gewasmanagement kunnen aangeven waar scheuten te dicht bij elkaar staan.
- Aanbrengen van een rek waarmee de struik gedwongen wordt om in een bepaalde structuur te groeien.
- De kwaliteit van de geoogste tak hangt direct samen met de hoeveelheid beschikbaar blad aan de ingebogen tak. Daarop zou gestuurd moeten worden door te meten, spreiden van de bladmassa en eventueel snoeien.
- Een minustruik heeft maar 2 bloemscheuten en één ingebogen tak. Is een dubbele struik met 2 ingebogen takken en 4 bloemscheuten ook haalbaar?
- Er zijn onderstammen die 10% meer productie en zwaardere takken opleveren. De toepassing van onderstammen is bij roos in het verleden normaal geweest. Recent zijn nieuwe onderstammen ontwikkeld en inmiddels op verschillende plaatsen getest, onder andere voor toepassing bij substraatteelt. Experimenten met deze onderstammen wijzen op een duidelijke meer productie (11 % meer stuks en 3 gram zwaardere takken). In de experimenten ontstonden problemen met overmatige wortelgroei. Omdat er ook een andere plantontwikkeling was, met o.a. meer grondscheuten en minder bladval, is de verwachting dat een andere plantopbouw kan leiden tot betere lichtbenutting en meer kg productie. Het probleem van de wortels lijkt oplosbaar met een andere goot.
- Als het knippunt zo belangrijk is voor de kwaliteit van de volgende roos moet dit beter zichtbaar worden gemaakt. Een enkel rij systeem, een verhoogde goot en minder ingebogen takken ervoor zou dan helpen. Een soort oogsthulp die de oogstbare rozen aanwijst, zodat de knipper zich alleen op het knippunt hoeft te concentreren, is dan wel noodzakelijk.

Bij tomaat is het mogelijk om door metingen aan gewasparameters (zoals bladlengte, kopdikte, aantal vruchten per plant, bloemzetting etc.) te sturen op plantbelasting en plantbalans. De beslissing welke gewasacties (bladsnoeien, vruchten verwijderen) en klimaatacties te verrichten worden door deze metingen ondersteund. Bij roos gebeurt dit veelal op gevoel van de teler, mede doordat er grote verschillen tussen cultivars zijn. Het werken naar een dergelijk "beslissingsondersteunend" systeem zou een heel nuttig instrument opleveren.

4 Modelberekeningen

Het is interessant om te bepalen in hoeverre we qua energiebesparing al kunnen komen met conventionele technieken en methoden. Om dit te kunnen berekenen is een rekenmodel opgesteld in MS-Excel. Met dit model is berekend hoeveel elektriciteit voor belichting er nodig is, als er een aantal energiezuinige maatregelen worden doorgevoerd. Belangrijk is vooral het terugdringen van het aantal uren belichting. Dit is gedaan door:

- Lichtintegratie. Pas bijbelichten bij te weinig licht over meerdere dagen.
- Relatief lange nachten waarin niet wordt belicht.
- Meer zonlicht toelaten dan de praktijk gewend is, pas bij relatief hoge instraling gaan schermen.

Uitgangspunt is een Venlo kas met normaal helder glas, de lichttransmissie van de kas is 70%. De belichting is in twee circuits geïnstalleerd. Er is een energiescherm en een verduisteringsdoek.

Gegeven de randvoorwaarde van behoud van rendement, is het streven om het aantal takken per m² per jaar te produceren dat KWIN voor Red Naomi! als norm aangeeft: 232 stuks. Die takken moeten een gewicht hebben van 70 gram per tak.

Het model berekent de hoeveelheid benodigde PAR-licht per periode op basis van:

- De verwachte productie in gram versgewicht per eenheid par-licht.
- De uitgroeiduur van de takken.
- Het aantal scheuten per m².

De uitgroeiduur en aantal takken van Red Naomi! zijn gebaseerd op basis van gegevens uit KWIN (Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas *et al.* 1983-) en informatie van (Trouwborst *et al.* 2012).

De lichtbenuttingsefficiëntie van Red Naomi! is afgeleid van (Schapendonk *et al.* 2009). In deze studie wordt voor deze parameter een gemiddelde waarde van 2,7 g/mol genoemd; de waarde varieert tussen de 2,6 in de zomer en 3 in de winter. De ervaringen uit de praktijk zijn echter een stuk minder optimistisch: hier zouden waarden van gemiddeld 2 en een variatie tussen de 1,8 en de 2,2 behaald worden (Gelder Persoonlijke communicatie). Om de gevoeligheid voor deze parameter te bekijken, zijn met beide waarden berekeningen gemaakt.

4.1.1 Belichtingsstrategie

Jonge volgroeide bladeren van roos vertonen bij lichtintensiteiten tot 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$ een sterke toename in fotosynthese. Daarboven tot ca. 800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$ is er nog steeds een duidelijke toename maar minder sterk (Hemming *et al.* 2004). Daarom is belichting met ca. 200-250 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$ bij lage lichtintensiteit buiten al snel effectief. Om 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$ te halen in de kas moet het buiten een stralingsniveau zijn van 250 W/m² (bij een lichttransmissie van de kas van 70%).

Om de efficiëntie van de belichting te verhogen is een aanpak om door schakeling met meerdere groepen lampen de lichtintensiteit van de combinatie daglicht en assimilatiebelichting op een constant niveau van ca. 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$ te houden. Omdat assimilatie lampen traag schakelbare systemen zijn kan dit het beste door combinatie van assimilatie lampen met (rode) LED lampen. De combinatie van systemen kan de belichting effectiever in zetten en daardoor energie input verminderen. Hierdoor kan vooral tijdens de dag energie bespaard worden en wordt de belichting optimaal benut. Op jaarbasis zijn er ongeveer 2700 uren (30 % van het jaar) dat de lichtintensiteit buiten tussen de 0 en 250 W/m² is. Er zijn 1650 uren met een lichtintensiteit boven de 250 W/m² waarin niet belicht hoeft te worden. Op dagen dat dit voorkomt hoeft in de overige uren minder belicht te worden om aan een gewenste lichtsom per dag te komen (lichtintegratie). Op jaar basis zijn er 4410 nachturen. Uitgaande van een donker periode van 6 uur per nacht resteren 2220 nachturen dat er belicht kan worden.

Het aantal uren per dag dat niet wordt belicht, varieert in de praktijk tussen de 0 tot 6 uur. In dit scenario wordt 6 uur niet-belicht. Dit heeft naast het energievoordeel ook het voordeel dat de kas makkelijker afkoelt, waardoor een lagere etmaaltemperatuur behaald wordt. De afkoeling in de nacht is gunstig voor de knoptemperatuur en zo voor de knopgrootte en kwaliteit alsmede op bepaalde momenten ook gunstig voor de strekking van de taklengte. Ook komt het tijdstip van oogsten in de morgen niet te vroeg te liggen. Daartegenover staat dat vanuit een optimaal effect van de assimilatie belichting op droge stof productie juist alle uren dat er geen natuurlijk licht is gebruikt moeten worden om te belichten, omdat dan de fotosynthese efficiëntie het hoogst is. Er wordt lichtintegratie toegepast. Een dag met veel licht wordt gebruikt om op een donkere dag minder te hoeven belichten. Dit levert vooral besparing op als de lichtsom per dag van nature sterk varieert en de ene dag ruim boven de gewenste lichtsom uitkomt en de andere dag er sterk onder. Dus in voor- en najaar.

4.1.1 Uitgangspunten belichting

Op basis van de belichtingsstrategie is bepaald dat de lampen niet branden:

- Als de hoeveelheid daglicht buiten meer is dan 250 W/m^2 .
- Tijdens de donkerperiode (6 uur).
- Indien de gemiddelde hoeveelheid PAR-licht van de afgelopen 3 dagen hoger is geweest dan de benodigde hoeveelheid PAR-licht.

De gemiddelde hoeveelheid PAR-licht in de afgelopen drie dagen wordt bepaald door:

- De hoeveelheid daglicht buiten (referentiejaar 2012).
- De lichttransmissie van de kas.
- De maximale hoeveelheid straling voordat het scherm wordt gesloten (600 w/m^2).
- De belichtingsintensiteit (max $175 \mu\text{mol/m}^2\cdot\text{S}$.) Gedurende de afgelopen periode.

4.2 Resultaten simulatie

Uit de berekening met het MS-Excel model blijkt dat het met deze uitgangspunten mogelijk is om met 266 kWh/m^2 Red Naomi! rozen te telen, van de gewenste aantallen en het gewenste takgewicht, zie Tabel 3. Dat is bijna de helft van de referentie, die gesteld was op 500 kWh/m^2 . Rekenen we echter met een lichtbenutting van $2,0 \text{ g/mol}$, dan is er 364 kWh/m^2 aan elektra nodig. Dat is een besparing ten opzichte van de referentie met 27%. Ten opzichte van de variant met de hogere lichtbenuttingscoëfficiënt wordt er 945 uur meer belicht.

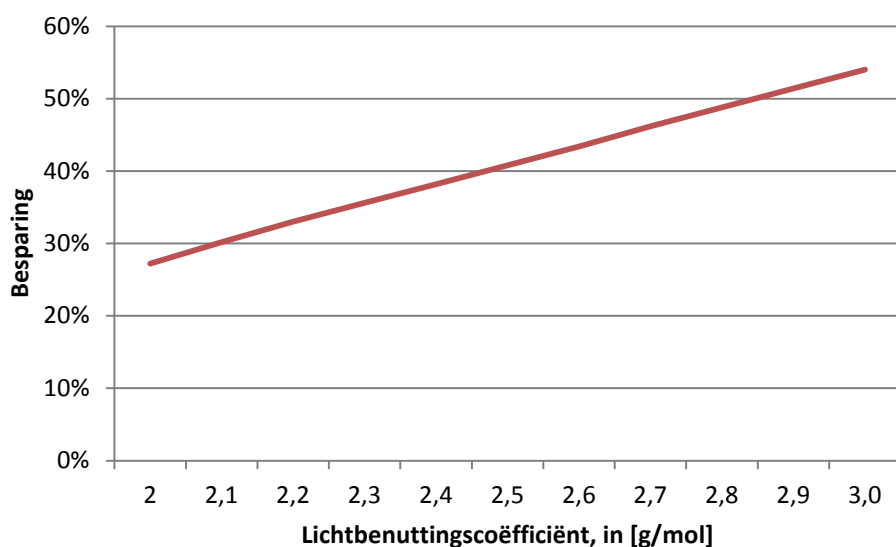
Tabel 3

Berekend elektriciteitsgebruik gegeven standaard uitgangspunten.

Parameter	Hoge licht benutting	Licht benutting praktijkopgave*	Eenheid
Takgewicht	70		gram/tak
Lichtbenutting	2.7	2.0	g/mol
Belichting 1	100		$\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$
Belichting 2	75		$\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$
Start donker	20:00		Uur
Start licht	2:00		Uur
Daglengte	18		Uur
Transmissie kas	70		%
Stralingsgrens scherm	600		W/m^2
Stralinggrens Lamp2	250		W/m^2
Stralinggrens Lamp1	150		W/m^2
Rendement lampen	1.7		$\mu\text{mol}/\text{J}$
Belichting 100%	2589	3534	Uur
Elektriciteitsgebruik	269	364	kWh/m^2

* Overige uitgangspunten gelijk aan de variant met de hoge lichtbenuttingscoëfficiënt

De berekening van het benodigde elektragebruik voor belichting voor de genoemde set uitgangspunten is voor een aantal waarden van de lichtbenuttingscoëfficiënt gemaakt. Figuur 7 laat de besparing op elektriciteit voor belichting zien, die ten opzichte van de referentie behaald wordt bij verschillende waarden voor de lichtbenuttingscoëfficiënt. Uit de simulaties blijkt dat gegeven de genoemde uitgangspunten er bij een lichtbenutting van 2,84 gram per mol PAR een besparing van 50% ten opzichte van de referentie van 500 kWh/m² behaald zou worden.



Figuur 7 De invloed van lichtbenutting door roos cv 'Red Naomi!' op de besparing op elektra voor belichting in een strategie van meer zonlicht toelaten en toepassing van 3-daagse lichtintegratie.

Uit deze berekeningen kunnen we concluderen dat bij gebruik van conventionele technieken, door alleen inzet van meer zonlicht toelaten en het toepassen van lichtintegratie, de ambitie van 50% besparing op elektra voor belichting niet gehaald zal worden. Met een lichtbenutting zoals die door (Schapendonk *et al.* 2009) is gerapporteerd, zouden we een heel eind in de richting komen. Deze waarde is echter fors hoger dan dat door de praktijk wordt genoemd.

4.3 Effect toepassing technische innovaties

In de hiervoor gepresenteerde berekeningen is uitgegaan van een standaard kas met conventionele technieken, zoals helder tuinbouwglas en SON-T belichting. De doelstelling van 50% besparing kon hiermee niet behaald worden. Het is de vraag in hoeverre toepassing van een aantal van de in de eerdere hoofdstukken beschreven technieken tot besparingen leidt die voldoen aan de gestelde ambities.

In Tabel 4 staan de uitkomsten van de modelberekeningen bij het gebruik van efficiëntere lamptypen. Er is niet alleen met LED lampen gerekend (zie paragraaf 3.5.1.2 voor een beschrijving en rendementen), maar er is ook nog een efficiëntere SON-T lamp dan die uit de referentie doorgerekend. De berekeningen laten zien dat bij het hoge niveau van lichtbenutting zoals dat in de literatuur genoemd is, de toepassing van een efficiëntere SON-T lamp al zou leiden tot de gewenste besparing van 50% (tov de 500 kWh/m² van de referentie). Indien er een lichtbenutting wordt behaald is conform de praktijkopgave, dan zijn zelfs de meest moderne LED lampen nog niet efficiënt genoeg.

Tabel 4

Elektraverbruik in kWh/m² (en besparing tov referentie in %) bij diverse lamptypes en lichtbenuttingscoëfficiënten.

Efficiency belichting		Hoge lichtbenutting	Lichtbenutting praktijk opgave
		2.7 g/mol	2.0 g/mol
SON-T referentie	1.7 µmol/J	269 (46%)	364 (27%)
SON-T modern	1.85 µmol/J	247 (51%)	334 (33%)
LED	2.0 µmol/J	229 (54%)	309 (38%)
LED modern	2.3 µmol/J	199 (60%)	269 (46%)

LED lampen geven niet de stralingswarmte af die SON-T lampen wel afgeven. Dit gebrek aan stralingswarmte zou kunnen leiden tot tragere productie; tevens kan het invloed op de kwaliteit hebben. Dit kunnen redenen zijn om te zoeken naar compensatie; eventuele gevolgen voor het energiegebruik zijn niet meegerekend.

De besparing op elektra voor belichting door het toepassen van innovatief kasdek materiaal zijn wat minder groot, zoals in Tabel 5 te zien is. Het innovatieve kasdek materiaal bestaat uit diffuus glas met aan beide kanten een AR coating. De transmissie van de kas kan hiermee van 70% tot ongeveer 75% verbeterd worden. Een ander voordeel van diffuus glas is een lagere kans op kwaliteitsproblemen bij meer instraling. Zoals in paragraaf 3.4.2 is beschreven, kan het stralingsniveau waarbij het scherm dicht loopt, van 600 naar 700 W/m² verhoogd worden. De besparing door toepassing van deze maatregelen loopt voor rozen met een hoge lichtbenutting op tot 49%, en bij het praktijkcijfer voor lichtbenutting tot 32%.

Tabel 5

Elektraverbruik in kWh/m² (en besparing tov referentie in %) bij verschillende transmissiewaarden van de kas, instralingsniveaus voor schermen en lichtbenuttingscoëfficiënten.

Transmissie kas		Scherm dicht	Hoge lichtbenutting	Lichtbenutting praktijk opgave
			2.7 g/mol	2.0 g/mol
Referentie	70%	600 W/m ²	269 (46%)	364 (27%)
Diffuus glas, AR coating	75%	600 W/m ²	255 (49%)	347 (31%)
Diffuus glas, AR coating	75%	700 W/m ²	254 (49%)	342 (32%)

Zoals uit bovenstaande berekeningen blijkt, wordt indien met een hoge lichtbenutting van 2,7 g/mol gerekend wordt, de ambitie van 50% met een meer licht doorlatende kas gehaald. Indien de lichtbenutting echter op het niveau van de praktijkrichtlijn van 2,0 g/mol ligt, zal een combinatie van een efficiëntere lamp en een hogere kastransmissie nodig zijn om de ambitie te behalen.

Berekeningen waarvan de resultaten in Tabel 6 staan, laten zien dat een combinatie van de meest efficiënte lamp, de lichtste kas, en een verhoogd instralingsniveau voor schermen, leidt tot het geambieerde besparingsniveau. (NB in combinatie met een strategie van meer zonlicht toelaten en lichtintegratie.)

Tabel 6

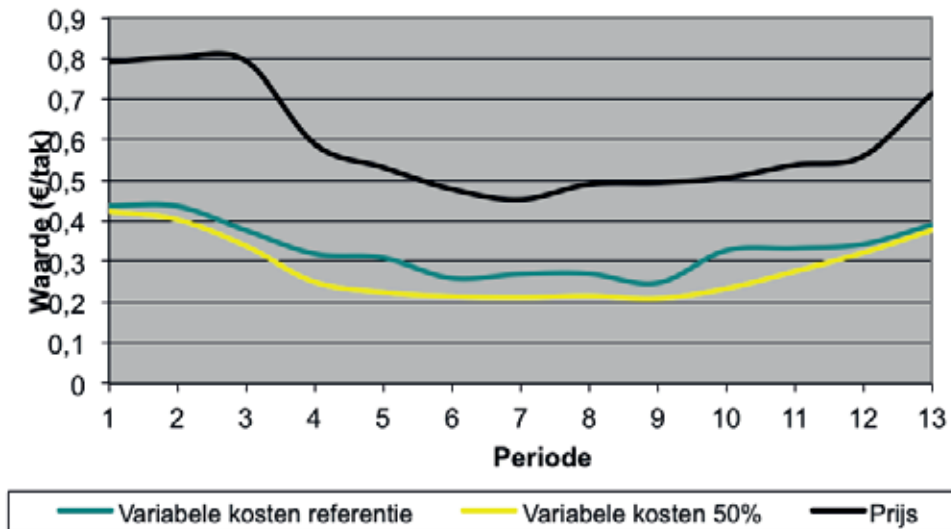
Elektraverbruik in kWh/m² en besparing tov referentie in (%) bij verschillende lamptypen, transmissiewaarden kas en stralingsniveaus voor schermen, bij een lichtbenutting van 2,0 g/mol (praktijkopgave).

Transmissie kas		Referentie 70%	Diffuus glas, AR coating 75%	Diffuus glas, AR coating 75%
		Scherm dicht	600 W/m ²	600 W/m ²
SON-T referentie	1.7 µmol/J	364 (27%)	347 (31%)	342 (32%)
SON-T modern	1.85 µmol/J	334 (33%)	318 (36%)	314 (37%)
LED	2.0 µmol/J	309 (38%)	295 (41%)	290 (42%)
LED modern	2.3 µmol/J	269 (46%)	256 (49%)	252 (50%)

4.4 Berekende effecten op het rendement

De randvoorwaarde die gesteld was voor het 50% zuiniger belichten, is dat dit niet ten koste moet gaan van het rendement. In beide scenario's wordt eenzelfde hoeveelheid stelen per periode per m² geoogst, van dezelfde kwaliteit. De omzet is in beide gevallen dus even hoog. Met behulp van het simulatiemodel is uitgerekend wat de variabele kosten zijn van de referentie en de 50% zuiniger variant. Voor de 50% zuiniger variant is gekozen voor de uitgangspunten van een lichtbenuttingscoëfficiënt van 2,7 g/mol en efficiëntere SON-T lampen. Gerekend is met een elektriciteitsprijs van € 0,07 €/kWh en een gasprijs van € 0,25 €/m³. Voor de overige uitgangspunten, zie eerder dit hoofdstuk en KWIN.

In onderstaande figuur is aangegeven wat de variabele kosten per tak zijn, gedurende het jaar. Hieruit blijkt dat de verschillen in de wintermaanden gering zijn, maar dat in de rest van het jaar de zuiniger variant goedkoper is. Op jaarbasis is het saldo (omzet minus variabele kosten) in de referentie € 60 per m² per jaar en in de 50% zuiniger versie € 71.



Figuur 8 Omzet en variabele kosten in [€ per tak] gedurende het jaar in [vier wekelijkse perioden].

Voor het scenario waarbij met een lichtbenutting van 2,0 g/mol wordt gerekend, zijn investeringen in LEDs en in innovatief kasdek materiaal nodig om met een elektraverbruik van 250 kWh het beoogde aantal stelen met een taggewicht van 70 g te produceren. Als we er vanuit gaan dat de opbrengsten marginaal zullen verschillen met de hierboven gepresenteerde cijfers (we gaan er vanuit dat er geen grote verschillen in het productiepatroon zijn), en de variabele kosten zijn gelijk, dan is het saldo (opbrengsten minus variabele kosten) gelijk aan het hierboven gepresenteerde scenario, namelijk € 71 per m² per jaar. Het verschil met de € 60 van de referentie, € 11 per m² per jaar, geeft de ruimte die er is om de meerkosten van investeringen in LED en het innovatieve kasdek te financieren.

5 Innovatief concept

Uit de in het vorige hoofdstuk beschreven berekeningen blijkt dat een teelt van Red Naomi! met nagenoeg 50% besparing op elektra uit te voeren is, zonder dat concessies gedaan worden aan aantal takken en het takgewicht, mits er een lichtbenutting van 2,7 g/mol gehaald wordt. Bij een lagere lichtbenutting is de inzet van aanvullende maatregelen en technieken nodig. Met diffuus glas en LED belichting zou dit in theorie moeten lukken.

Door toepassing van een aantal van de innovatieve technieken en methoden kunnen ook risico's verlaagd worden, die in het conventionele zuinige concept uit het vorige hoofdstuk wellicht als hoog worden ingeschat (zoals het hoge lichtniveau waarbij de schermen dicht gaan).

5.1 Technische installaties

Afgezien van de economische haalbaarheid, zoals in paragraaf 4.4 is besproken, zou het innovatieve kas- en teeltconcept uit de volgende onderdelen kunnen bestaan:

- De kas is uitgerust met diffuus glas met AR coating.
- Hybride belichting. Een combinatie van blauwe LED's, verrode LED's (beide met stuurlicht intensiteit van enkele $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), rode LED's (fotosynthese intensiteit: van 50 tot 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en SON-T. De verschillende lampen kunnen apart van elkaar worden aan- en afgeschakeld. Vanwege de toepassing van lichtintegratie hoeven de LED's niet dimbaar te zijn.
- In de kas zijn twee schermen geïnstalleerd: een energiescherm en een verduisteringsdoek.
- Kaslucht management systeem. De ontwikkeling van systemen voor luchtbehandeling en luchtbeweging in kassen heeft de afgelopen jaren onder impuls van Het Nieuwe Telen een grote ontwikkeling doorgemaakt. Hoewel deze ontwikkeling voornamelijk gericht is op vermindering van de inzet van thermische energie, kunnen ze ook ingezet worden voor het voorkomen van kwaliteitsproblemen die gepaard lijken te gaan met een te hoge instraling. Opties zijn slurven onder de teeltgoten waardoor (opgewarmde) buitenlucht wordt geblazen, en een combinatie van ventilatoren die lucht van boven het scherm de teeltruimte inblazen met ventilatoren die deze lucht vertikaal verdelen (Anonymous 2013). Met de tweede variant kan in theorie ook lampwarmte het gewas ingeblazen worden. Overigens lijkt sturing op lage RV cq hoge VD voor roos noodzakelijk gezien de houdbaarheid: rozen die bij hoge RV zijn geteeld lijken veel korter houdbaar te zijn (waarschijnlijk door huidmondjesgedrag).
- Ventilatoren kunnen de temperatuur van knoppen en jonge blaadjes beter op kastemperatuur niveau houden door een verhoogde convectieve warmteoverdracht van blad naar kaslucht.
- Verneveling voor RV beheersing en adiabatische koeling.
- Daksproeiers.
- Fotosynthese afhankelijke CO₂ dosering.

5.2 Teelttechnisch concept

In de teelt worden de volgende voorwaarden aan het klimaat gesteld voor een ideale groei en ontwikkeling van de roos :

- Gecontroleerde lichtsom (PAR) van natuurlijk licht plus kunstlicht per dag.
- Temperatuurverloop over de dag zodanig dat een etmaal temperatuur wordt gerealiseerd die in een bepaalde verhouding staat met de lichtsom.
- Tijdens belichten de temperatuur van de ontwikkelende bloemknop kunnen beheersen (afkoelen) om kwaliteitsproblemen te voorkomen.
- Inzet van het kasluchtmanagement systeem om vochtproblemen te voorkomen, en op een bepaald temperatuurprofiel te kunnen sturen vanwege bepaalde plantprocessen (uitlopen van ogen). Mocht dit onvoldoende zijn, dan kan de minimumbuis als fall-back optie worden ingezet.
- Beheersing van de luchtvochtigheid, enerzijds door verneveling en anderzijds door ontvochtiging met droge lucht.

5.2.1 Steeldichtheid

In de tomaten teelt is het normaal om te rekenen met een gewenste en gerealiseerde plantbelasting in relatie tot lichtsom en etmaaltemperatuur. De planten bij tomaat zijn daarbij in hoge mate uniform. Voor roos zou de steeldichtheid per m² een maat voor assimilaten vraag per m² kunnen zijn. De uniformiteit tussen planten is bij roos echter veel minder dan bij tomaat. Dit maakt het veel moeilijker om op plantbelasting met oogst en snoeibeleid te sturen. Daarbij wordt bij de oogst van een roos een belangrijk deel van het bladpakket meegenomen. Een lagere steeldichtheid moet in theorie leiden tot een hoger gewicht per geoogste steel. Dit is vooral van belang als de lichtintensiteit laag is. Dan kan door bewust op een beperkt aantal uitlopende takken per plant te sturen de kwaliteit in g/cm steel worden verhoogd.

5.2.2 Klimaat beheersing

Er wordt niet meer met een minimumbuis geteeld. De basis van de vochtregeling is geforceerde ventilatie. Dit systeem heeft zich bewezen bij Gerbera en Tomaat. Ook in het experiment met diffuus glas bij roos is zonder minimumbuis geteeld en dan zonder geforceerde ventilatie. Als fall-back optie is er wel een minimum buis geïnstalleerd, maar alleen voor gevallen dat met geforceerde ventilatie het vocht onvoldoende beheerst kan worden. Daarbij geldt dat als er in perioden gevaar voor botrytis aantasting is, die mede veroorzaakt wordt door een hoge temperatuur uitstraling naar de hemel, dat dit risico in eerste instantie wordt getackeld met schermen. Bij te sterke afkoeling in de uren van niet belichten kan op energie worden bespaard door de schermen maximaal te sluiten. Als de kas voldoende is afgekoeld tijdens het niet-belichten, kan door gebruik te maken van de warmte van de belichting, de kas langzaam opgewarmd worden.

In de zomer en de herfst zal het geregeld voorkomen dat de etmaal temperatuur in verhouding tot de lichtsom per dag te hoog is. Om de balans tussen temperatuur en licht te herstellen is het dan nodig om de temperatuur te verlagen. Dit kan middels koeling. Uit energie oogpunt wordt hier gekozen voor de inzet van adiabatische koeling door verneveling en daksproeiers. Met verneveling kan ook het vochtdeficiet beïnvloed worden, wat nodig kan zijn voor de waterstatus van het gewas.

Geforceerde ventilatie als methode van vochtbeheersing maakt het mogelijk om meer te schermen met de bestaande scherm installatie, zodat minder warmte in de kas hoeft te worden gebracht. Uit praktijk situaties is bekend dat goed schermgebruik en geforceerd ventileren kunnen bijdragen aan een homogeen kasklimaat. Schermkieren zijn nadelig voor de uniformiteit in kasklimaat. Een volledig gesloten doek is beter om uniformiteit in klimaat te bereiken. Door de geforceerde ventilatie ontstaat enige overdruk. Deze draagt bij aan een homogener kasklimaat. De overdruk moet via openingen in de gevel de kas kunnen verlaten. Deze openingen zijn zo aangebracht, dat deze niet door geveldoeken worden afgedekt.

Bij CO₂ doseren moet met twee fenomenen rekening worden gehouden: (1) roos reageert in fotosynthese nog steeds positief in het traject tot 1000 ppm (Schapendonk, 2005); (2) een te hoge concentratie heeft een negatief effect op de huidmondjes opening en daarmee op de verdamping en gewastemperatuur, bovendien kunnen planten zich aanpassen aan continu hoge CO₂ concentratie waardoor hoge concentraties minder zinvol worden. Om CO₂ dosering te beperken, wordt de concentratie op 700-800 ppm gehouden.

5.3 Systeem integratie

Alle hierboven genoemde technieken samen vormen het instrumentarium dat ingezet wordt om gelijktijdig de energie input in een kas te verlagen en rozen van topkwaliteit te produceren. Daar komen nog de methoden en technieken voor watergift, voeding en gewasbescherming bij; deze zijn in dit rapport buiten beschouwing gelaten. Het teeltconcept voor roos bestaat dan uit slim belichten en combineren van SON-T met LED, waarbij een deel van de LED installatie voor stuurlicht en een deel voor groeilicht wordt ingezet; op het juiste moment verwarmen, beheerst CO₂ doseren, goed schermen in combinatie met geforceerd ventileren via luchtkanalen in het scherm, dakberegening en natuurlijke koeling, lucht laten bewegen en dat alles onder een diffuus en hoog transparant kasdek.

6 Discussie en conclusie

6.1 Lichtbenuttingscoëfficiënt Q-groei

De haalbaarheid van de ambitie om 50% op elektrische energie voor belichting te besparen in een teelt van roos 'Red Naomi!', met behoud van rendement, is volgens modelberekeningen in sterke mate afhankelijk van de lichtbenutting door het gewas: het aantal grammen oogstbare bloemen per mol PAR licht (soms van natuurlijk licht en kunstlicht). Deze parameter wordt door (Schapendonk *et al.* 2009) Q-groei genoemd. In hun onderzoek vonden (Schapendonk *et al.* 2009) voor verschillende cultivars verschillende waarden voor Q-groei. Van de tien door hen onderzochte cultivars was Red Naomi! de minst efficiënte, met een gemiddelde Q-groei van 2,72 g/mol PAR. Avalanche was de meest efficiënte, met een Q-groei van 4,71.

Opvallend is het grote verschil met de waarde die voor deze parameter in de praktijk voor Red Naomi! wordt gehanteerd: deze is met een waarde van 2 g/mol 26% lager. Uit de berekeningen blijkt dat met de waarde voor Q-groei van (Schapendonk *et al.* 2009) een strategie van meer zonlicht toelaten en lichtintegratie reeds een aanzienlijke besparing van 46% op belichting gerealiseerd kan worden. Door toepassing van een efficiëntere SON-T lamp dan de referentie zou de ambitie van 50% besparing op belichting al behaald kunnen worden. Rekenend met het praktijkgetal komen we met meer zonlicht toelaten en lichtintegratie echter op een besparing 27%. Technische oplossingen die onder de stappen één en twee uit het stappenplan geschaard kunnen worden, en zorgen voor een meer efficiënt lichtaanbod op het gewas, zijn nodig om de ambitie van 50% besparing op belichting te behalen.

Vanwege de verschillen in Q-groei en de effecten die dit op het realiseren van de besparingsambities heeft, is de vraag wat nog realistische waardes zijn die voor Q-groei gehanteerd kunnen worden. In het Kas als Energiebron onderzoek "Perfekte roos, duurzaam geteeld" blijkt dat men in de loop van de meerjarige proef hogere waarden voor Q-groei heeft kunnen realiseren: men is van gemiddeld 2, via 2,1 naar 2,4 g/mol PAR gegaan (Gelder). Hoewel het de vraag is of deze laatste waarde ook op praktijkbedrijven gehaald zullen worden, geeft het aan dat de in deze studie gebruikte praktijkopgave van 2 g/mol PAR realistisch is, maar dat enige rek naar boven mogelijk is. De Q-groei waarde uit de literatuur lijkt echter voor praktijkomstandigheden te hoog.

Q-groei geeft het resultaat weer van onder meer de processen die onder de stappen drie tot en met vijf plaatsvinden: lichtonderschepping, omzetting van licht in assimilaten en verdeling van assimilaten over de diverse plantorganen. Q-groei is net als andere "light use efficiency" modellen een empirisch model. Met een deterministisch gewasgroeimodel zouden onderliggende processen meer in detail berekend kunnen worden. Om de perspectieven van bepaalde maatregelen op de productie nauwkeuriger in te kunnen schatten, zou een deterministisch gewasgroeimodel voor roos interessant kunnen zijn.

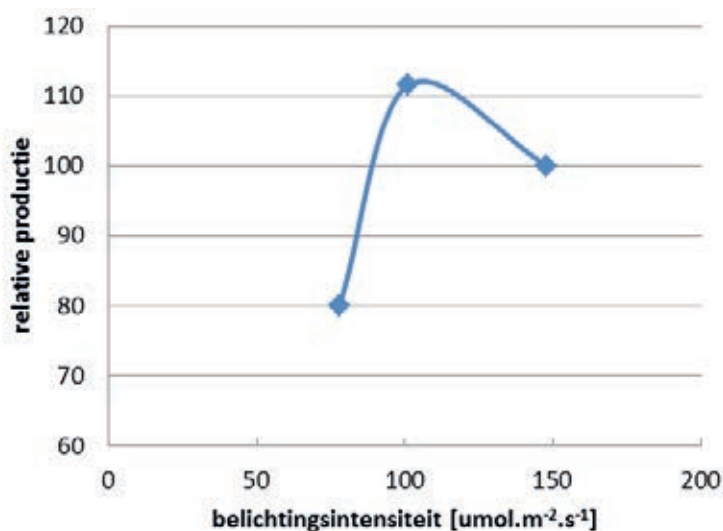
6.2 Hogere Q-groei bij lagere lichtintensiteiten

De waarde voor Q-groei fluctueert door het jaar heen: in de winter gaat een roos efficiënter om met licht dan in de zomer. (Schapendonk *et al.* 2009) vonden bij Red Naomi! waarden voor Q-groei tussen de ca 2,6 in de zomer en 3 g/mol in de winter. Ze geven twee redenen aan voor de hogere efficiency in de winter:

1. De fotosynthese licht respons curve vlakkt af bij hogere lichtintensiteiten. Bij hogere intensiteiten is de fotosynthese per mol PAR licht lager.
2. In de zomer is er vaker beperking van de fotosynthese door (gedeeltelijke) sluiting van de huidmondjes als gevolg van toename van de VPD. Dit speelt vooral 's middags en aan het eind van de dag.

Ook in ander onderzoek is aangetoond, dat de efficiëntie van de belichting sterk kan teruglopen bij oplopende belichtingsintensiteiten. Zo liet (Hoog 1998) bij 6 verschillende rozenrassen zien dat een verdubbeling van het aantal lampen, en daarmee van het lichtniveau (van 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ naar 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), leidde tot een relatief veel lagere productieverhoging van tussen 12.5 en 27%.

Uit een onderzoek waarbij verschillende telers van het ras 'Passion' aan deelnamen in 2006, bleek dat de hoogste productie (in kg en aantal takken) werd behaald door de groep telers die met $101 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ belichten (Vermeulen and García 2009). De kg opbrengst van deze telers was 11,5% hoger dan de opbrengst van telers die belichtten met $148 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (zie Figuur 9). Het verschil kon niet verklaard worden uit verschillen in CO_2 niveaus door eventuele verschillen in ventilatie als gevolg van verschillen in opwarming van de kas door de lampen. Maar: belichten met maar $78 \mu\text{mol}$ leidde tot een afname van de kg productie ten opzichte van de $101 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ van bijna 20%.



Figuur 9 Productieniveaus van roos 'Passion' van groepen telers geïncubateerd in drie belichtingsniveaus (Vermeulen and García 2009).

6.3 Kwaliteit en bloeiplanning

Een niet onbelangrijk uitgangspunt bij de berekeningen is dat het behoud van rendement bepaald wordt door behoud van productie en kwaliteit. Voor kwaliteit wordt als criterium in de berekening alleen het takgewicht meegenomen (70 g/tak). Het is de vraag of de strategie van meer zonlicht toelaten niet tot (fysiogene) kwaliteitsproblemen zal leiden. Met name het meer licht toelaten door later schermen, kan bij Red Naomi! voor onder meer verkleuring van bloemen zorgen. Een goed begrip van het mechanisme van deze schade kan zorgen voor een alternatieve oplossing. Eerder is al gesuggereerd dat problemen met bloemverkleuring wellicht door koeling van de knoppen tegen gegaan kan worden. Het energieverbruik dat hiervoor nodig is, is niet in de berekeningen meegenomen.

Een ander belangrijk kwaliteitsaspect is houdbaarheid. Er is een sterk vermoeden dat een te hoge RV tijdens de teelt, het huidmondjesgedrag dusdanig beïnvloedt, dat dit negatief uitpakt in de naoogstfase. Kortom: een te hoge RV in de teelt veroorzaakt een te korte houdbaarheid. In de rozenteelt vindt men beheersing van de luchtvochtigheid daarom erg belangrijk, en dit wordt ook als een van de grootste knelpunten bij de rozenteelt gezien. Er wordt naar een RV van rond de 80% cq. een VD van boven de $2 \text{ g}/\text{m}^3$ gestuurd, en daarvoor is veel ventilatie nodig.

Door de strategie om minder uren te belichten en meer zonlicht toe te laten, mede via meerdaagse lichtintegratie, zal er meer variatie in de lichtsom per dag ontstaan dan bij de referentie. Dit kan effect hebben op het productiepatroon: er kan meer variatie in het aantal oogstbare takken per dag ontstaan, aan de planbaarheid van de bloei wordt enige concessie gedaan. Dit kan voor rozenbedrijven een negatief effect zijn, met name in perioden dat de productie sterk op "bloemendagen" zoals Valentijnsdag en Moederdag wordt gericht.

6.4 Economische aspecten

De teelttechnische maatregelen die zorgen voor een hogere lichtbenutting, lijken onvoldoende om een besparing op belichting met 50% te realiseren. Bij realistische waarden voor Q-groei zijn investeringen nodig in een efficiënter aanbod van het licht aan het gewas. In de berekeningen is gekeken naar LED lampen en diffuus glas met AR coating.

Er is (nog) geen openbare informatie over de investeringskosten van met name LED belichting beschikbaar. Door de recente introductie zijn ook de levensduren cq afschrijvingstermijnen van LED en diffuus glas met AR coating nog niet precies bekend. De verwachting is evenwel dat de jaarlijkse meerkosten van LED plus die van diffuus glas met AR coating, de investeringsruimte van € 11 per m² te boven zullen gaan. Met andere woorden: een besparing van 50% op elektra met behoud van rendement lijkt nog niet mogelijk met de innovatieve technologie die daar momenteel voor beschikbaar is.

Zoals altijd met de investeringsruimte die ontstaat uit energiebesparing, wordt de grootte van de investeringsruimte voor een belangrijk bepaald door de waarde van de energie die wordt bespaard. Als de prijs voor elektra sterk zou stijgen, kunnen de energiebesparende maatregelen eerder worden terugverdiend. Voor elektriciteit lijkt een sterke stijging van de prijs echter niet voor de hand te liggen.

Door de toepassing van een aantal van de in dit rapport genoemde technieken en methoden wordt de energie efficiëntie verbeterd. Ze kunnen ingezet worden om dezelfde productie met minder energie te behalen. Echter ze kunnen ook gebruikt worden om met minstens dezelfde hoeveelheid energie een hogere productie (en/of betere kwaliteit) te behalen. We zitten in de Nederlandse omstandigheden op het deel van de fotosynthesecurve, waarbij meer licht normaal gesproken ook nog steeds meer opbrengst oplevert. Dit is een wezenlijk verschil met Het Nieuwe Telen, omdat de relatie tussen thermische energie en productie minder direct gecorreleerd lijkt. Uiteindelijk is het aan de teler cq ondernemer om de afweging te maken.

Literatuur

Anonymous (2010)

'Gelijkstroom biedt mogelijkheden voor energiebesparing in kassen', *Energiek2020.nu* [online], available: http://www.energiek2020.nu/nieuws/detail/gelijkstroom-biedt-mogelijkheden-voor-energiebesparing-in-kassen/?sword_list%5b%5d=gelijkspanning&no_cache=1 [accessed

Anonymous (2013)

'Meerdere uitvoeringen Ventilation Jet', [online], available: <http://www.energiek2020.nu/alle-berichten-energiek2020/detail/meerdere-uitvoeringen-ventilation-jet/> [accessed

Anonymus (2012)

'Nieuwe vervangers voor SON-T', *Vakblad voor de Bloemisterij*, 2012(40), 32-33.

Bakker, J. A., Brand, C. M. and Maas, F. M. (1997)

Regulatie van groei en bloemontwikkeling van rozen met lichtkleur met het oog op een verminderde inzet van assimilatiebelichting, Wageningen: AB-DLO.

Blindeman, L. (2011)

'Proeven snijbloemen in beeld - LED-belichting in de teelt van snijrozen', *Verbondsnieuws : vakblad voor de Belgische sierteelt en groenvoorziening*, (12), 20-21.

Broekharst, P., Medema, D. and Dijkshoorn, A. (2012)

Programma Energie en CO₂ & Jaarplan 2013, Zoetermeer: Productschap Tuinbouw.

Dueck, T., de Gelder, A., Janse, J., Baar, P. H., Eveleens, B. and Grootcholten, M. (2013)

Het nieuwe belichten bij tomaat met minder CO₂, Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw.

Dueck, T., Janse, J., Kempkes, F., Li, T., Elings, A. and Hemming, S. (2012)

Diffuus licht bij tomaat, Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw.

Dueck, T. A., Jongschaap, R. E. E., de Zwart, F., van Telgen, H. J., Steenhuizen, J. W., Uenk, D. and Marcelis, L. F. M. (2007)

Optimaliseren van de energie-efficiëntie van belichting, *Nota / Plant Research International*;442, Wageningen: Plant Research International [etc.].

Dueck, T. A., Poudel, D., Janse, J. and Hemming, S. (2009)

Diffuus licht - wat is de optimale lichtverstrooiing?, *Rapport / Wageningen UR Glastuinbouw*;308, Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw.

Eveleens, B., Garcia, N., Kouwenhoven, D., van der Wurff, T. and van Telgen, H. J. (2004)

Fasegestuurde rozenteelt : effecten van temperatuur, licht CO₂, EC en luchtvochtigheid op de lengte en synchronie van drie onderscheiden ontwikkelingsfases, Aalsmeer: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business unit Glastuinbouw.

Eveleens, B., Garcia, N., van Weel, P., van de Wurff, T. and van Telgen, H. J. (2002)

Bepaling cultivareffect en effectiviteit synchronisatiemethode in rozen, *PPO*;542, Naaldwijk: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, sector Glastuinbouw.

Garcia Victoria, N., Eveleens, B. A. and Telgen, H. J. v. (2007)

'Development of a phase dependent growth strategy for mobile rose cultivation systems', *Acta Horticulturae*, 751 (IV International Symposium on Rose Research and Cultivation), 11.

García Victoria, N., Gelder, A. d. and Speetjens, B. (2012)

Kwaliteit roos bij telen volgens licht emissie regels, Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.

García Victoria, N. and Kempkes, F. (2012)

Effect van diffuus kasdek met Anti Reflectie coating bij roos, Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.

Gelder, A. d. (2013)

Het nieuwe telen gerbera: efficiëntie, economie en energie; teeltseizoen 2011 - 2012, in press, Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.

Gelder, A. d.

(Persoonlijke communicatie).

Gelder, A. d., Poot, E. H., Dieleman, J. A. and Zwart, H. F. (2012)

'A concept for reduced energy demand of greenhouses: the next generation greenhouse cultivation in the Netherlands', *Acta Hort. (ISHS)*, 952, 539-544.

Gelder, A. d., Warmenhoven, M. G., Mei, M. v. d., Groot, M. d. and Grootcholten, M. (2011)

Het nieuwe telen gerbera: teeltseizoen 2010 - 2011, GTB 1138, Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.

- Hemming, S., Waaijenberg, D., Bot, G., Sonneveld, P., de Zwart, F., Dueck, T., van Dijk, C., Dieleman, A., Marissen, N., van Rijssel, E. and Houter, B. (2004)
Optimaal gebruik van natuurlijk licht in de glastuinbouw, Rapport / Agrotechnology & Food Innovations;nr. 100, Wageningen: Agrotechnology & Food Innovations.
- Hock, J. P.
 (Persoonlijke communicatie).
- Hofland-Zijlstra, J. D., Heuvelink, E. and Kierkels, T. (2013)
 'Lichtintensiteit en -kleur beïnvloeden ontwikkeling ziekten en plagen ', *Onder Glas*, 10(2), 2.
- Hogewoning, S. W., Trouwborst, G. and Pot, C. S. (2012)
Efficiënter lichtspectrum voor open gewassen; focus op productie en vervolgteelt van uitgangsmateriaal, Utrecht: Plant Lighting.
- Hoog, J. d. (1998)
Teelt van kasrozen, Aalsmeer: Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente.
- Janse, J., Moerenhout, S., Kempkes, F. L. K. and Dueck, T. A. (2012)
Vroege komkommerteelt onder diffuus glas, Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.
- Janssen, E., Oversloot, H., Wiel, W. D. v. d. and Zonneveldt, L. (2006)
Optimaal kasdek, Delft: TNO.
- Kool, M. T. N. (1996)
System development of glasshouse roses, unpublished thesis Kool.
- Kool, M. T. N. and van de Pol, P. A. (1993)
 'Controlling the plant development of Rosa hybrida 'Motrea'', *Scientia Horticulturae*, 53(3), 239-248.
- Maaswinkel, R., van Leeuwen, F., van Ieperen, W. and de Gelder, O. (2012)
Resultaten onderzoek bolblad chrysanthe : 2011-2012, Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.
- Noort, F. v.
 (Persoonlijke communicatie).
- Poot, E., de Zwart, F., Bakker, S., Bot, G., Dieleman, A., de Gelder, A., Marcelis, L. and Kuiper, D. (2008)
Richtinggevend beeld voor energiezuinig telen in semigesloten kassen, Nota / Wageningen UR Glastuinbouw;568, Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.
- Poot, E., Kempkes, F., de Gelder, A., Janse, J. and Raaphorst, M. (2010)
Nieuw kasdek voor Het Nieuwe Telen, Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw.
- Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas, Proefstation voor de Bloemisterij in, N. and Informatie en Kennis Centrum voor de Akker- en, T. (1983-)
 'Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw',
- Raaphorst, M. (2013)
Praktijkexperiment ontvochtigen met zouten : gebruik en regeneratie van hygroscopisch zout in een kasproef bij Lans Zeeland, Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.
- Schapendonk, A., Pot, C. S. and Rappoldt, K. (2009)
Plantenpaspoort roos; sleutel voor optimale productie., Wageningen: Plant Dynamics.
- Schreurs
 (website) 'Red Naomi! Schreurs', [online], available: <http://www.schreurs.nl/nl/257/product/red-naomi.html>
 [accessed
- Snel, J. F. H., Meinen, E., Bruins, M. A., van Ieperen, W., Hogewoning, S. W. and Marcelis, L. F. M. (2011)
Fotosynthese-efficiency bij verschillende golf lengten, Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw.
- Stanghellini, C., Mohammadkhani, V., Bruins, M. A., Hemming, S., Sonneveld, P. and Swinkels, G. J. (2010)
Condensatie tegen het kasdek : licht- en energie-effecten van condensatie op acht kasdekmaterialen, Wageningen: Wageningen UR, Glastuinbouw.
- Trouwborst, G., Pot, C. S. and Vries, D. P. (2012)
Knopuitloop bij roos: effecten van stuurlicht en temperatuur, Wageningen: Plant Dynamics.
- Turenhout, T. v. (2012)
 'Rooskleurige afsluiting 2011', *Vakblad voor de Bloemisterij*, 2012(5), 30-31.
- Velden, N. v. d. and Smit, P. (2013)
Groei elektriciteitsconsumptie glastuinbouw : hoe verder?, Rapport / LEI, Den Haag: LEI Wageningen UR.
- Vermeulen, P. and García, N. (2009)
Verkenning mogelijkheden om de energieefficiëntie in de rozenteelt te verbeteren : een modelstudie, Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.

- Weel, P. A. v. (2013)
'Wageningen UR ontwikkelt godkope oplossing voor ontvochtigen kassen', available: <http://edepot.wur.nl/256381> [accessed
- Wubs, A. M., Heuvelink, E., Marcelis, L. F. M., Vos, J. and Buck-Sorlin, G. H. (2012)
'Disentangling the Effect of Light Quantity and Light Quality on Bud Break in a Rose Crop', *Proceedings of the 7th International Symposium on Light in Horticultural Systems (Book of Abstracts)*, (7th International Symposium on Light in Horticultural Systems).
- Zwart, H. F. d. (1996)
Analysing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model, unpublished thesis Agricultural University Wageningen.
- Zwart, H. F. d. (2013)
'Affordable energy savings with next generation semi-closed greenhouse' in Jagers, F., ed. *Horti Fair 2012 Knowledge review: Best practices in sustainable horticulture*, Aalsmeer: Horti fair / Wageningen UR, 10.
- Zwart, H. F. d., Stanghellini, C. and Knaap, L. P. M. v. d. (2010)
Hoog isolerende en lichtdoorlatende schermconfiguraties, *Nota / Wageningen UR Glastuinbouw*, Wageningen: Wageningen UR, Glastuinbouw.

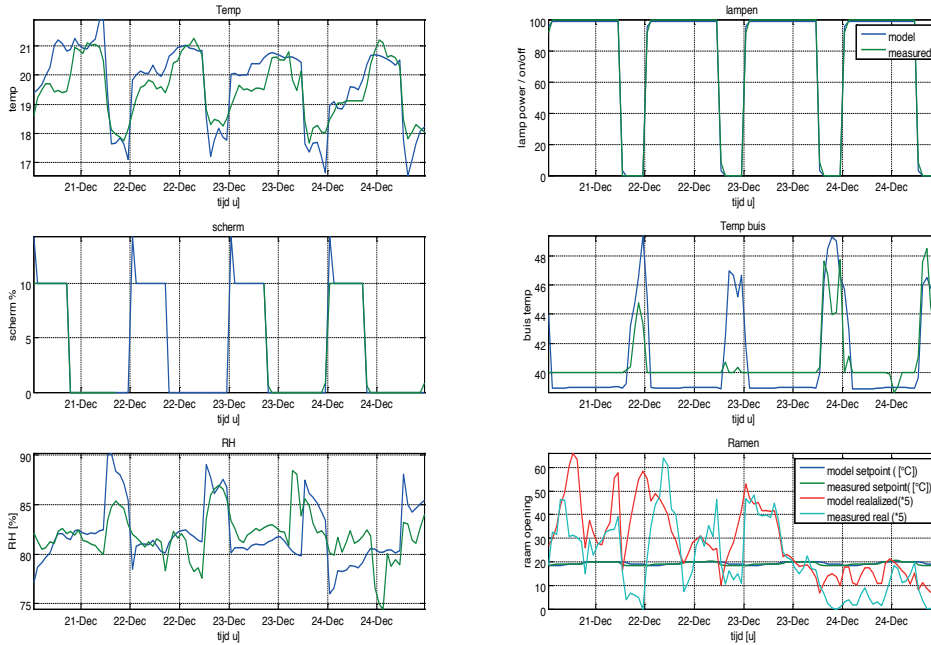
Bijlage I Setpoints klimaat referentieteelt roos

Klimaatsetpoints referentieteelt roos

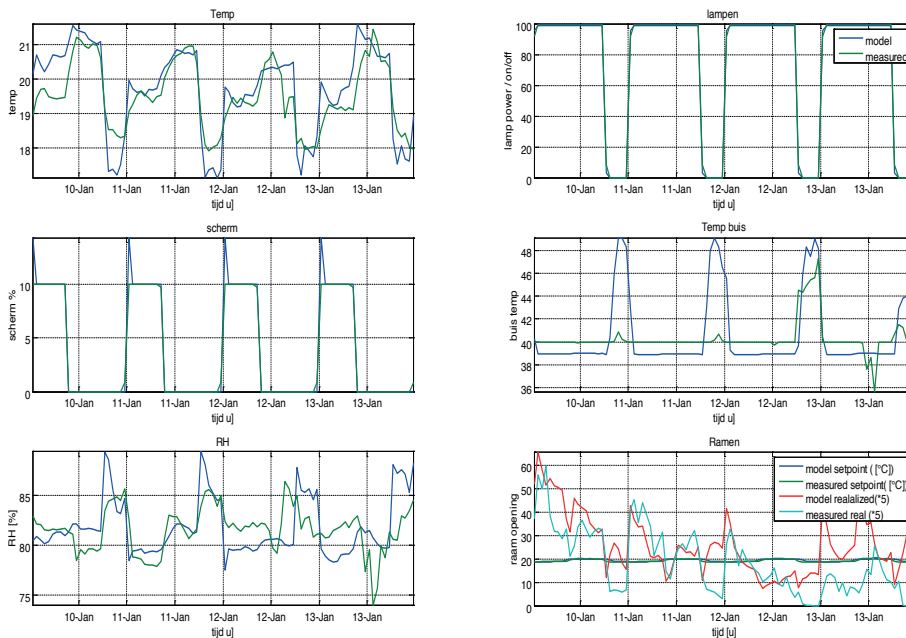
Parameter	Setpoint / strategie
Kasdek	Normaal glas float
Etmaaltemperatuur	Minimum winter 20°C (met stralings aanpassingen conform praktijk), maximum zomer 23°C
Minimum dagtemperatuur	20°C
Minimum nachttemperatuur	16°C
Stoken	18°C
Luchten	19°C
Luchten windzijde	23°C
P-band (luw)	4, +10 (temp), + 2(windsnelheid)
P-band(wind)	4, +15 (temp), + 5(windsnelheid)?
Minimum buis	40°C
Maximum buis temperatuur	50°C
Stralingsaanpassing minimumbuis	Bij 250 W m ² -5 Bij 400 W m ² -10
Verneveling	uit
Belichting	15000 lux, in een fase geschakeld
Lampen aan	Als buitenstraling < 225 W/m ²
Lampen uit	Als buitenstraling > 275 W/m ²
Zonnenschermingsdoek	XLS 13 F Ultra Firebreak; 32% lichtafscherming en 15% energiebesparing
Zonafscherming	Bij buitenstraling > 600 W/m ²
Lichtafschermingsdoek	95% lichtdicht
Doek dicht gedurende het donkerperiode	Bij buitentemperatuur < 4°C
Donker periode (6 uur/ etmaal)	Apr/sept (+0,5 uur na zon onder tot 2:00) Oktober (+ 1 u.na zon onder tot 02:00 uur) November tot maart = 18:00 – 24:00 u
Lichtafscherming buiten donkerperiode	Bij buitentemp.0°C en wind >5 m/s 74% lichtafscherming Bij buitenT>0°C en wind <5 m/s, scherm 10% dicht
Geveldoeken (allemaal gelijk)	Dicht bij instraling buiten < 70 Watt/m ²

Bijlage II Validatie kasklimaatmodel

Hieronder worden enkele grafieken getoond waarin de resultaten van de modelsimulaties vergeleken worden met de gemeten waarden uit de kas proef voor de referentieafdeling.



Figuur I 21 tot 24 dec.



Figuur II 10 tot 13 januari.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen UR Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wageningenur.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport GTB-1365

Wageningen UR Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.