



Diffuus licht bij tomaat

Tom Dueck, Jan Janse, Frank Kempkes, Tao Li, Anne Elings & Silke Hemming



Referaat

Onderzoek naar de effecten van diffuus licht op glastuinbouwgewassen wijst uit dat het de groei en vooral de productie bevordert. Voor de tuinder is het van belang het juiste glas te kiezen, met een zo klein mogelijk lichtverlies in de wintermaanden, maar met de maximale voordelen in de voorjaars-, zomer en herfstmaanden. Bij Wageningen UR in Bleiswijk is een teelt met tomaat, Komeett uitgevoerd onder drie typen diffuus glas en standaard tuinbouwglas dat in de zomermaanden voorzien was van een coating van ReduFuse.

Vanaf het begin van de oogst was de kiloproductie onder diffuus glas hoger. Deze meerproductie is gerealiseerd vanaf de eerste oogst, als gevolg van de ontwikkeling van de eerste trossen vroeg in het seizoen. Hiermee is het voordeel van een diffuus kasdek in de winter aangetoond. De meerproductie was vooral het gevolg van zwaardere vruchten (gemiddeld 5-8 g zwaarder). Daarnaast vormden zich iets meer trossen (0.5 tros meer) bij diffuus licht en verliep de uitgroeiduur van de trossen vooral in het zonnige voorjaar wat sneller. Daarna heeft de zomer minder zonuren opgeleverd, en ondanks deze natte zomer werd een meerproductie van 8, 9 en 11% gerealiseerd in respectievelijk de Diff45, Diff62 en Diff71 behandelingen. Kennelijk heeft een diffuus kasdek ook bij minder licht een positief effect op het gewas. Ook is er bij de ReduFuse coating, die in mei is opgebracht, uiteindelijk een meerproductie onder de coating gerealiseerd van bijna 5%. Dit biedt perspectieven voor tuinders met een bestaand bedrijf om een meerproductie onder invloed van diffuus licht te verkrijgen. De hogere productie valt dan echter niet samen met de vroege periode met hogere productprijzen. Diffuus licht, of het nu het gewas bereikt via diffuus glas of een coating op het dek, heeft geen invloed op de smaak, refractie of houdbaarheid van tomaat.

Abstract

Research into the effects of diffuse light on horticultural crops shows that it promotes growth and especially the production. For the grower it is important to choose the right glass, with the least amount of light loss in the winter, but with the maximum benefits in the spring, summer and autumn months. An experiment with tomato (cv. Komeett) was performed at Wageningen UR in Bleiswijk under three types of diffuse glass and a standard greenhouse glass coated with ReduFuse in the summer.

The first harvest resulted in a higher fruit production under diffuse glass. This increase in production was realised as a result of the development of the first trusses early in the season. This indicates the advantages of a diffuse glass greenhouse in the winter. The increased production was mainly the result of heavier fruits (on average 5-8 g heavier). Also slightly more trusses developed (0.5 truss more) in diffuse light and time from flowering to harvest was faster, especially in spring. During the summer less sunshine was recorded, but despite the wet summer a production increase of 8, 9 and 11% was realised in the Diff45, Diff62 and Diff71 treatments, respectively. It appears that even under lower light conditions, diffuse light has a positive effect on the crop growth and production. The crop production under ReduFuse coating, which was applied in May, was also higher, and reached almost 5% at the end of the growing season. This offers possibilities for growers who cannot build new greenhouses to realize more production under the influence of scattered light. The higher production does not coincide, however, with higher product prices realised earlier in the season. Diffuse light, whether realised under diffuse glass or a coating on the deck, has no influence on the taste or shelf life of tomatoes.

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | Kennisoverdracht | 7 |
| 2 | Samenvatting | 9 |
| 3 | Inleiding | 11 |
| 4 | Materialen & Methoden | 13 |
| 4.1 | Plantmateriaal en teeltcondities | 13 |
| 4.1.1 | Plantmateriaal | 13 |
| 4.1.2 | Teeltcondities | 13 |
| 4.2 | Kasdekmaterialen en behandelingen | 13 |
| 4.3 | Modelsimulaties | 14 |
| 4.4 | Metingen | 14 |
| 4.4.1 | Klimaatregistratie | 14 |
| 4.4.2 | Lichtmetingen | 14 |
| 4.4.2.1 | Globale straling en diffuus lichtmetingen | 14 |
| 4.4.2.2 | PAR metingen | 14 |
| 4.4.2.3 | Lichtverdeling in de kas | 14 |
| 4.4.2.4 | Spectrale metingen | 15 |
| 4.4.2.5 | Lichtonderschepping | 15 |
| 4.4.3 | Plantregistraties, morfologie en fysiologie | 15 |
| 4.4.3.1 | Plantregistraties | 15 |
| 4.4.3.2 | Plantmorfologie en destructieve oogst | 15 |
| 4.4.3.3 | Gewastemperatuur | 15 |
| 4.4.3.4 | Wateropname | 16 |
| 4.4.3.5 | Fotosynthese metingen | 16 |
| 4.4.3.6 | SPAD metingen | 16 |
| 4.4.4 | Productie metingen | 16 |
| 4.4.4.1 | Bloeisnelheid en uitgroeiduur | 16 |
| 4.4.4.2 | Productie | 16 |
| 4.4.4.3 | Kwaliteit | 17 |
| 4.4.5 | Energieverbruik | 17 |
| 4.5 | Kosten-baten analyse van diffuus glas en coating | 17 |
| 5 | Resultaten & Discussie | 19 |
| 5.1 | Optimalisatie van de teelt | 19 |
| 5.2 | Klimaatcondities | 19 |
| 5.2.1 | Globale straling en diffuus licht | 19 |
| 5.2.2 | Kasklimaat | 20 |
| 5.2.3 | Verticale temperatuurverdeling van de kaslucht | 20 |
| 5.2.4 | CO ₂ -concentratie, -dosering en ventilatie | 21 |
| 5.2.5 | Energie | 22 |

| | | |
|-------------|--|----|
| 5.3 | Lichtmetingen | 24 |
| 5.3.1 | Lichttransmissie | 24 |
| 5.3.2 | Horizontale lichtverdeling | 28 |
| 5.3.3 | Lichtonderschepping | 29 |
| 5.4 | Plantregistraties | 30 |
| 5.5 | Fysiologie | 34 |
| 5.5.1 | Planttemperatuur in relatie tot luchttemperatuur | 34 |
| 5.5.2 | Fotosynthese | 35 |
| 5.5.3 | Fotoinhibitie | 36 |
| 5.5.4 | Verdamping van het gewas | 37 |
| 5.5.5 | SPAD meting | 37 |
| 5.6 | Productie | 38 |
| 5.6.1 | Bloeisnelheid en uitgroeiduur | 38 |
| 5.6.2 | Vruchtproductie | 40 |
| 5.7 | Kwaliteit | 43 |
| 5.8 | Model simulaties | 44 |
| 5.8.1 | Verkenningen vooraf | 44 |
| 5.8.2 | Narekenen van het experiment | 45 |
| 5.9 | Kosten-baten analyse | 47 |
| 6 | Conclusies | 49 |
| 7 | Referenties | 51 |
| Bijlage I | Aandeel diffuse straling van globale straling | 53 |
| Bijlage II | Normaliseren van spectrale metingen | 55 |
| Bijlage III | Ontwikkelingsnelheid vruchten en PAR som | 57 |

Voorwoord

Onderzoek naar de invloed van diffuus licht op planten heeft aangetoond dat er meer productie gerealiseerd kan worden, mits de transmissie van licht naar het gewas niet wordt verminderd. Een belangrijke vraag daarbij is het relatieve belang van lichttransmissie in relatie tot de mate van lichtverstrooiing (haze) in de verschillende seizoenen.

In het kader van het innovatieprogramma Kas als Energiebron is in opdracht van het Ministerie EL&I en het Productschap Tuinbouw door Wageningen UR Glastuinbouw onderzoek gedaan naar de effecten van diffuus licht op het kasklimaat, energiegebruik, de groei, ontwikkeling en productie van tomaat. De resultaten van dit onderzoek worden in dit rapport weergegeven.

Het project werd medegefinancierd en ondersteund door Guardian BV die ondermeer het glas leverde voor het experiment en door de Provincie Zuid Holland i.s.m. het ministerie EL&I (Samenwerken aan Vaardigheden). Mardenkro BV leverde de coating in één van de behandelingen en zorgde voor het opbrengen op het kasdek.

Het experiment is intensief begeleid door een BCO bestaande uit Ted Duijvestijn, Joost Barendse, Marco Zuidgeest, Pieter van Staalduinen en Herbert Stolker, die de proef tijdens de belichtingsperiode regelmatig hebben bezocht.

Barbara Eveleens, Yunim Kan, Esther Meinen, Vida Mohammadkhani, Peter Lagas en Mark Ruijs worden bedankt voor de metingen en analyses van de data. Speciale dank gaat uit naar Bram van Haaster en Kees Scheffers voor de teeltverzorging.

Tom Dueck & Jan Janse
Wageningen UR Glastuinbouw
Januari 2012

1 Kennisoverdracht

Publicaties

1. Dueck T & Janse J. 2010. Diffuus glas resulteert in fors hogere productie. Gewasnieuws tomaat 13 (2): 3.
2. Dueck TA & Van Telgen HJ. 2010. Tijdelijk licht diffuus maken is een goed idee, mits het lichtverlies beperkt blijft. Onder Glas 7 (5). p. 56.
3. Van Lier A & Dueck TA. 2010. Diffuus glas moet zich nog bewijzen in sierteeltgewassen (interview met o.a. Tom Dueck). Vakblad voor de Bloemisterij 65 (6):36-37.
4. Van Staalduinen J, Hemming S & Dueck TA. 2010. Onderzoek en praktijk: diffuus glas geeft forse meerproductie (interview met Silke Hemming en Tom Dueck). Onder Glas 7 (5). p. 5 - 7.
5. Anon. & Dueck T. 2011. Grote proef naar werking diffuus glas. Groenten & Fruit Actueel. 3 jan 2011.
6. Duijvestijn T. 2011. Diffuus: meer verdamping minder Botrytis. Blog 30 maart. <http://www.energiek2020.nu/aan-het-woord/detail/diffuus-meer-verdamping-minder-botrytis/>
7. Bezemer J & Dueck T. 2011. Voor teler wordt diffuus licht een nieuw stuurinstrument. Onderglas 8 (4): 18-19. April 2011.
8. Van Staalduinen, J. & Hemming, S. (2011). Nieuwe soorten glas, anti-reflectie coatings en alternatieve krijtschermen: Volop keuze om zonlicht diffuus te maken en reflectie te verminderen. Onder Glas 8 (4). p. 21-23.
9. Ammerlaan J. 2011. Drie types diffuus glas in tomatenproef tegelijk. Blog 21 juni. <http://www.energiek2020.nu/aan-het-woord/detail/drie-types-diffuus-glas-in-tomatenproef-gelijk-1/>
10. Duijvestijn T. 2011. Over langere termijn meer productie onder diffuus glas. Blog 23 augustus. <http://www.energiek2020.nu/aan-het-woord/detail/over-langere-periode-meer-productie-onder-diffuus-glas/>
11. Janse J & Dueck T. 2011. Nog wekelijks een meerproductie bij diffuus glas. Digitale nieuwsbrief Deligrow, 18 september 2011. <http://actua.deligrow.com/members/deligrow-tomaat/dgtom-benelux/tips-onbelicht.php?access=DeliGrow+Tomaat&jr=11&wk=37a>
12. Dueck T & Janse J. 2011. Nog wekelijks een meerproductie bij diffuus glas. Nieuwsbrief Tomaat LTO -Groeiservice, 24 september 2011, 14(3): 3.
13. Bouwman-van Velden P (interview met TA Dueck en E Poot). 2012. De kracht van samen leren over diffuus licht is groot. Onderglas 1:55.

Lezingen

- | | |
|------------------|--|
| 6 januari 2011 | Diffuus licht voor tomaat. Lezing voor BCO, Bleiswijk. Tom Dueck. |
| 10 januari 2011 | Ervaringen met diffuus licht in de kas. Studieclub Groententelers onder glas, Sint-Katelijne-Waver, België. Silke Hemming. |
| 12 januari 2011 | Diffuus licht voor tomaat: kickoff. Lezing WUR Greenhouse Horticulture. Tom Dueck. |
| 10 februari 2011 | Teeltzaken tomaat diffuus. BCO, Bleiswijk. Jan Janse. |
| 16 februari 2011 | Licht, belichting en kwaliteit. Voordracht KCB, Bleiswijk. Tom Dueck. |
| 28 februari 2011 | Diffuus glas en Venlow Energy Kas. Gewasbijeenkomst Komkommer, Maasbree. Jan Janse. |
| 17 maart 2011 | Natuurlijk licht. Energiek Event 2011, Bleiswijk. Silke Hemming. |
| 21 april 2011 | Teeltzaken tomaat diffuus. BCO, Bleiswijk. Jan Janse. |
| 16 juni 2011 | Diffuse light and tomato: December to June. Lezing voor Noren, Bleiswijk. Tom Dueck. |
| 22 juni 2011 | Diffuus glas: Hoe en waarom werkt het? INES netwerk Gelderland, Bleiswijk Silke Hemming. |
| 23 juni 2011 | Diffuus licht en tomaat: December to June. Lezing Tomatentuinders, Bleiswijk. Tom Dueck. |
| 26 juni 2011 | Productie diffuus t/m week 23. BCO, Bleiswijk. Jan Janse. |
| 30 juni 2011 | Diffuse light for tomato: effect on leaf and fruit development. Lezing WUR Greenhouse Horticulture. Yunim Kang. |
| 25 aug 2011 | Diffuus nog 'diffuus'? Resultaten t/m week 33. Lezing Tomatentuinders, Bleiswijk. Tom Dueck. |
| 1 sept 2011 | Diffuus licht en tomaat: overzicht. Lezing Belgisch tuinders en onderzoekers, Bleiswijk. Tom Dueck. |
| 6 sept 2011 | Teeltzaken tomaat diffuus. BCO, Bleiswijk. Jan Janse. |
| 29 sept 2011 | Glas voor de tuinbouw. Klantendag HortiConsult, Deurne. Silke Hemming |
| 5 okt 2011 | Diffuus licht en tomaat. Lezing TTO, Honselerdijk. Tom Dueck. |

5 okt 2011 Diffuus licht en tomaat: een overzicht. Tomatencommissie, Den Bosch. Jan Janse.
12 okt 2011 Diffuus licht en tomaat: een overzicht. Auberginecommissie, Breda. Jan Janse.
13 okt 2011 Diffuus licht en tomaat: een overzicht. BCO, Bleiswijk. Jan Janse.
25 okt 2011 Improving LUE in greenhouse crops: The effect of diffuse light on tomato. Lezing WURGreenhouse Horticulture. Tao Li
26 okt 2011 Diffuus licht en tomaat: een overzicht. Lezing Komkommercommissie, Tricht. Jan Janse.
10 nov 2011 Diffuus licht bij tomaat. Àrenasessie Diffuus licht, Bleiswijk. Jan Janse.
15 nov 2011 Diffuus licht bij tomaat. Inno Crop Consulting, Bleiswijk. Jan Janse
30 nov 2011 Diffuus licht en tomaat. Masterclass Tuinbouw, Jan Janse.
14 dec 2011 Diffuus licht bij tomaat. Gewasbijeenkoms tomaat. Futuro, Maasbree. Tom Dueck.

2 Samenvatting

Onderzoek naar de effecten van diffuus licht op glastuinbouwgewassen heeft in het verleden uitgewezen dat het de groei en vooral de productie bevordert, al waren de eigenschappen van het glas niet optimaal. Tegenwoordig is diffuus glas beschikbaar dat voorzien is van een anti-reflectie (AR) coating, met dezelfde of zelfs hogere lichttransmissie dan helder glas. Deze diffuse glazen zijn nu verkrijgbaar met verschillende lichtverstrooiingsgraden en tegen verschillende kosten, maar ook met verschillende te verwachten productiewinsten. Het is dus belangrijk om het juiste glas te kiezen zodat de maximale voordelen voor het gewas in elk seizoen gehaald kunnen worden.

In dit onderzoek is uitdrukkelijk gezocht naar de beste glaseigenschappen die er nu bestaan. Daarbij horen eigenschappen zoals een goede lichttransmissie, loodrecht maar vooral hemisferisch en een goede mate van lichtverstrooiing (haze). Daartoe is een experiment gestart om glasdekken die verschillen in de mate van lichttransmissie en lichtverstrooiing te onderzoeken bij een jaarronde teelt met tomaat. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het programma Kas als Energiebron in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van EL&I en het Productschap Tuinbouw. Additioneel is er ook ondersteuning verkregen van een leverancier van diffuus glas, Guardian BV, en het project Samenwerken aan Vaardigheden.

In het onderzoek zijn de effecten van drie typen diffuus glas onderzocht en vergeleken met die van standaard tuinbouw glas (0% haze en 83% hemisferische lichttransmissie), alsmede standaard tuinbouwglas dat in de zomermaanden voorzien was van een coating van ReduFuse (50% haze en 78% lichttransmissie). Alle drie diffuus glastypen waren voorzien van een anti-reflectie (AR) coating. Twee van de drie gebruikte diffuus glastypen hadden dezelfde lichttransmissie (83%) maar met een verschillende haze factor, 45% en 71%, terwijl het derde type met 62% haze een hogere mate van lichttransmissie had, namelijk 85%. In het onderzoek zijn veel kasklimaatparameters geregistreerd en metingen verricht aan ondermeer lichttransmissie, lichtonderschepping, fotosynthese en fotoinhibitie, groei, productie en vrucht kwaliteit. Er is ook een schatting gemaakt van de kosten-baten van het gebruik van diffuus glas voor de tomatenteelt.

Vanaf het begin van de oogst was de kiloproductie onder diffuus glas hoger. Deze meerproductie is gerealiseerd vanaf de eerste oogst, als gevolg van de ontwikkeling van de eerste trossen in januari. Hiermee is het voordeel van een diffuus kasdek in de winter aangetoond. De hoge meerproductie heeft zich voortgezet over het gehele teeltseizoen (winter/voorjaar, zomer en herfst). De meerproductie was vooral het gevolg van zwaardere vruchten (gemiddeld 5-8 g zwaarder). Daarnaast vormden zich iets meer trossen (0.5 tros meer) bij diffuus licht en verliep de uitgroei van de trossen vooral in het zonnige voorjaar wat sneller. Daarna heeft de zomer relatief weinig zonuren opgeleverd, maar ondanks deze natte zomer werd een meerproductie van 8, 9 en 11% gerealiseerd in respectievelijk de Diff45, Diff62 en Diff71 behandelingen. Kennelijk heeft een diffuus kasdek ook bij minder licht een positief effect op het gewas. Ook is er bij de ReduFuse coating, die in mei is opgebracht, uiteindelijk een meerproductie onder de coating gerealiseerd van bijna 5%. Dit biedt perspectieven voor tuinders met een bestaand bedrijf om een meerproductie onder invloed van diffuus licht te verkrijgen. De hogere productie valt dan echter niet samen met de vroege periode met hogere productprijzen. Diffuus licht, of het nu het gewas bereikt via diffuus glas of een coating op het dek, heeft geen invloed op de smaak, refractie of houdbaarheid van de tomaatvruchten.

Een aantal processen in de teelt hebben deze meerproductie mede-veroorzaakt.

De horizontale lichtverdeling onder een diffuus kasdek laat meer gelijkheid in lichtintensiteit zien en het licht dringt dieper door in het gewas. Mogelijk speelt condensvorming op diffuus glas ook een rol, omdat de meerproductie meer is dan alleen op basis van het diffuse licht vastgesteld kan worden. Bladeren kunnen zich onder diffuus licht anders gaan oriënteren, met een betere lichtabsorptie als gevolg. Dit biedt mogelijkheden om de lichtonderschepping te vergroten door de stengeldichtheid en daardoor de LAI te verhogen. Onder een diffuus kasdek is de fotosynthesecapaciteit dieper in het gewas hoger als gevolg van meer licht en een hoger droge stofgehalte in de onderste bladeren. Doordat diffuus licht gelijkmatiger het gewas bereikt (minder extremen in intensiteit) vindt er niet of nauwelijks fotoinhibitie plaats tijdens perioden met veel zonlicht bij een instraling van meer dan ca. 500 W m^{-2} . Ook dit draagt bij aan de lichtbenuttingsefficiëntie.

Er is ook een klein verschil op spectraal gebied bij glas met de hoogste haze (Diff62 en Diff71) met een iets hogere transmissie in het UV-gebied evenals in het verrood gebied van het spectrum.

Vooraf tegen het einde van de teelt is er minder Botrytis aantasting waargenomen en vielen er in deze periode daardoor minder tomatenstengels uit onder diffuus glas. Dit heeft waarschijnlijk vooral te maken met de meer generatieve groei van het gewas, het ondervinden van minder stress (fotoinhibitie) gedurende de teelt en het hogere gehalte aan drogestof van de stengels onder diffuus glas.

De tomatenteelten in het onderzoek hebben niet meer energie nodig gehad dan de referentieteelt. Weliswaar heeft één van behandelingen meer energie verbruikt (Diff45), maar de overige twee behandelingen hebben juist minder energie verbruikt. Ondanks geluiden uit de praktijk dat het energiegebruik onder diffuus glas stijgt omdat er in de ochtenduren meer gestookt zou moeten worden, is er tijdens dit onderzoek gemiddeld niet meer energie verbruikt onder een diffuus kasdek. Er zijn in de praktijk dan ook andere materialen gebruikt (typen diffuus glas), maar in dit onderzoek is met materialen gewerkt waarbij zowel een goede lichttransmissie als een kleine energiebesparing is gerealiseerd. Opvallend is dat met 3% meer lichttransmissie (Diff62) meer energie in de kas is gerealiseerd (meer verdamping), terwijl onder Diff71 minder verdamping werd waargenomen. Geconcludeerd moet worden dat het glas met de hoogste lichttransmissie niet altijd het beste hoeft te zijn.

Uitgaande van de meerproductie die gerealiseerd is in dit onderzoek, de langjarige middenprijzen van tomatomaat per vierwekelijkse periode en een geschatte meerprijs van het glas, wordt de terugverdientijd van diffuus glas berekend op 4.2 tot 6.3 jaar. Naarmate de meerprijs van het glas lager is of de meerproductie in kilo's hoger wordt, zal de terugverdientijd korter worden. Daarvoor moet de haze van het glas tenminste 50% zijn, en bij voorkeur nog hoger, mits de lichttransmissie vergelijkbaar of hoger is dan bij standaard tuinbouwglas.

3 Inleiding

Eerder onderzoek naar diffuus licht heeft uitgewezen dat het gebruik van diffuse kasdekmaterialen tot een hogere productie bij komkommer (Dueck *et al.* 2009) en ook bij enkele potplanten leidt (Hemming *et al.* 2007). Ook bij paprika is aangetoond dat diffuus licht bijdraagt aan een productieverhoging (Eveleens *et al.* 2010) en een eerste praktijkproef met tomaat heeft zowel in een herfstteelt als in een heel seizoen gelopen (Geukemeijer *et al.* 2011).

De effecten van diffuus licht en diffuse kasdekmaterialen zijn veelbelovend. Echter, sommige geluiden uit de praktijk zijn minder positief. Het blijkt dan dat er veelal een glastype is gekozen met een veel lagere lichttransmissie waardoor in de zomermaanden een meerproductie gerealiseerd wordt, maar zodra de globale straling in augustus vermindert, een relatief lichttekort optreedt met de bijbehorende verminderde productie (Geukemeijer *et al.* 2011). Ook daar wordt over een hoger energieverbruik gesproken en dat is dan mogelijk een gevolg van een lagere lichttransmissie, waardoor er minder (warmte)energie de kas inkomt. Het is dus belangrijk om het juiste glas te kiezen, zodat het lichtverlies in de wintermaanden zo klein mogelijk is, maar dat in de voorjaars-, zomer- en herfstmaanden maximale voordelen voor het gewas gehaald kunnen worden. Onderzoek in komkommer heeft aangetoond dat glas met een zo hoog mogelijke lichtverstrooiing het beste resultaat geeft mits er weinig lichtverlies optreedt. De praktijkproef met tomaat bevestigt dat. De materialen met een hoge lichtverstrooiing die tot nu toe onderzocht en beschikbaar zijn, hebben meestal een klein lichtverlies. Dit kan nadelig zijn voor de productie in de winter. Tegenwoordig is diffuus glas beschikbaar met dezelfde of zelfs een hogere lichtdoorlatendheid dan helder glas, doordat ze voorzien zijn van een anti-reflectie (AR) coating. Deze diffuse glazen zijn nu verkrijgbaar met verschillende lichtverstrooiingsgraden, tegen verschillende kosten, maar ook met te verwachten verschillende productiewinsten.

Eerdere proeven met komkommer hebben uitgewezen dat met een lage haze (27%) zonder lichtverlies een meeropbrengst van 6.5% gerealiseerd kan worden in de maanden half februari tot november. Bij een hoge haze (74%), maar met een klein lichtverlies (-3%), kan een meeropbrengst van ruim 9% gerealiseerd worden. Ervaringen in een praktijkproef met tomaat laten zien dat glas met een gemiddelde haze (60%) en een hoog lichtverlies ten opzichte van het vergelijkingsmateriaal in de wintermaanden niet leidt tot een verhoogde productie. Er werd een hogere groeisnelheid en hoger oogsgewicht in de diffuse kas waargenomen in week 45-46, maar daarna nam het vruchtgewicht in de diffuse kas sterk af ten opzichte van de heldere kas.

Bekend is dat er nu materialen met een verschillende haze beschikbaar zijn. In principe geldt hoe hoger de haze hoe sterker het lichtverlies, tenzij dit gecompenseerd wordt door additionele coatings, die hogere kosten met zich mee brengen. In de zomer lijkt er eerder teveel dan te weinig licht voor optimale groei en productie. De vraag is of een maximale haze in de voorjaars-, zomer- en herfstmaanden zonder de nadelen van weinig licht in de winter, tot een hogere productie leiden.

De beschikbare kasdekmaterialen met een hoge lichtverstrooiing die tot nu toe onderzocht zijn, lieten vaak een klein lichtverlies zien. Dit kan in de wintermaanden zeer nadelig zijn. In de zomer, wanneer er een overmaat aan licht is dat anders bij sommige gewassen weggeschermd wordt, valt dat niet op. In de winter is echter alle beschikbare licht meer dan welkom. Door de verminderde lichthoeveelheid in een kas met diffuus kasdek is de kans aanwezig dat de productie in de donkere maanden gereduceerd wordt door een lagere koptemperatuur, verminderde fotosynthesecapaciteit of veranderde morfologie. Het is ook niet bekend of er een productieverlies optreedt onder diffuse kasdekmaterialen die geen lichtverlies vertonen.

In tegenstelling tot een coating die op het glas wordt gebracht, ligt een diffuus kasdek permanent op de kas. Een diffuse coating biedt de mogelijkheid om in seizoenen met veel licht (voorjaar en zomer) een coatingslaag op het kasdek te spuiten en er dan weer af te halen wanneer het licht in het najaar vermindert. Een diffuse coating zal in het voorjaar en de zomer een deel van het licht wegnemen. Afhankelijk van de coating kan dit geschat worden op een 5-10% verlies aan licht. De gevolgen van het vrij plotseling opbrengen van een coating bij toenemend licht voor het gewas en hoe het gewas de zomer doorkomt met enkele procenten minder licht, is onbekend. Om dit te onderzoeken wordt ook een behandeling opgenomen met het opbrengen van een coating op de kasdek. Door op deze wijze een experiment uit te voeren, kan de invloed van een aantal typen diffuus kasdek op het klimaat en het gewas worden vastgesteld en vergeleken met een coating en een referentiekas. Het optimaal benutten van zonlicht heeft een hogere energie-efficiëntie tot gevolg. Bij het

toepassen van diffuus licht via het kasdek materiaal kunnen meeropbrengsten tot 10% worden verwacht. De effecten van een diffuse coating worden in kaart gebracht. Daarnaast wordt een schatting gemaakt van de kosten en baten van diffuus glas vergeleken met standaard glas.

4 Materialen & Methoden

4.1 Plantmateriaal en teeltcondities

4.1.1 Plantmateriaal

Het ras dat in het experiment is gebruikt is Komeett (Monsanto), een grove tomatomaat. Het ras was 1 op 1 geënt op de onderstam Maxifort.

4.1.2 Teeltcondities

| | |
|----------------------------|--|
| Proefplaats: | Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk |
| Kasafdelingen: | Kassen 804, 805, 806, 807 en 808, afmetingen 15 m lang en 9.60 m breed (bruto 144 m ²), kolomhoogte 5.50 m, met doorlopende nokluchting |
| Hoogte gewasdraad: | 4.30 m |
| Teeltgoten: | Eén goot (lengte 12.5 m) met één gewasrij langs beide gevels en 5 goten daar tussenin met dubbele gewasrijen (carrousels), hoogte tot bovenkant goot ca. 50 cm |
| Plantdatum: | 16 december 2010 in kas, op mat gezet 20 januari 2011 |
| Plantdichtheid: | 2.55 planten/m ² |
| Extra stengels | In week 10 extra aangehouden stengels 1 op 3: 3.4 stengels/m ² |
| Substraatmat: | Grodan Grotop Expert, afmetingen 1.33 x 20 x 7.5 cm (6 planten/mat) |
| Schermb: | Energiescherm (LS10 ultra) |
| Verwarming: | <ul style="list-style-type: none">• In hoogte verstelbare groeibuis (35 mm). Deze hing in de buurt van de oogsttros• Buisrailnet (51 mm) |
| CO ₂ -dosering: | Dosering tot ongeveer 1000 ppm met OCAP-CO ₂ , doseercapaciteit maximaal 230 kg/ha/uur |
| Voeding: | Starten met startschema, er is niet gerecirculeerd |
| Duur proef: | Tot en met week 45 |
| Toppen | Planten zijn getopt op 12 september 2011 |
| Trossnoei: | 1 ^e tros op 4, daarna op 5, vanaf week 20 t/m 23 op 4, daarna weer op 5 met zwakke planten eventueel tijdelijk op 4, vanaf begin augustus weer op 5, laatste 2 trossen bijpunten |
| Klimaatinstellingen: | Getracht is om het klimaat zoveel mogelijk per behandeling te optimaliseren. Dit is gedaan op advies van telers binnen de begeleidingscommissie (BCO) en aan de hand van de gewasbeoordelingen en -metingen. |
| Overige teeltmaatregelen: | Mede aan de hand van de wekelijkse voedingsanalyses werd de druppel-EC en of voedingsamenstelling per behandeling aangepast |

4.2 Kasdekmaterialen en behandelingen

Voor het experiment werd als controle standaard tuinbouwglas gebruikt, een helder glas zonder lichtverstrooiing (0% haze en 83% lichttransmissie)¹. Het gewas geteeld onder deze referentie werd vergeleken met gewassen geteeld onder 3 typen diffuus glas en 1 type coating. Alle drie de diffuus glastypen zijn afkomstig van Guardian met de volgende eigenschappen: 45% haze en 82% lichttransmissie; 62% haze en 85% lichttransmissie; 71% haze en 82% lichttransmissie. Alle drie diffuus glastypen waren voorzien van een anti-reflectie (AR) coating. Zowel het dek als de gevels (behalve de noordgevel) van elke kas werd bedekt met diffuus glas. Een aanvullende behandeling werd toegepast door een kas met standaard glas te coaten met ReduFuse van Mardenkro.

¹ Lichttransmissie is tenzij anders aangegeven de hemisferische transmissie

De coating werd opgebracht op 4 mei (verdunding 1:6), maar omdat deze teveel lichtverlies gaf, werd de coating er na 3 weken weer afgehaald en opnieuw opgebracht op 3 juni (verdunding 1:8) totdat het na de zomer er weer werd afgehaald op 9 september. De kasdekken werden allemaal twee keer per jaar gewassen, zowel vóór als tijdens de teelt. Er mag derhalve weinig tot geen lichtverlies als gevolg van vervuiling verwacht worden.

4.3 Modelsimulaties

Met behulp van het geïntegreerde kas-gewasgroei-model Kaspro-INTKAM werd voorafgaand aan het experiment een reeks verkenningen uitgevoerd, waarbij het belang van de haze factor en diverse transmissies van het kasdek materiaal werd onderzocht. Hierbij werd voor wat betreft het buitenklimaat uitgegaan van het 'SELjaar', en werd voor wat betreft de kasinstellingen en teeltmaatregelen zo goed mogelijk geanticipeerd op het komende experiment. De verkenningen werden uitgevoerd voor Komeett, een source-gelimiteerd tomatenras.

De primaire vragen die onderzocht werden, waren:

- Is bij iedere hogere haze factor de verwachte productie hoger, of is er op een zeker moment een afname omdat er sprake is van een teveel aan lichtverlies?
- Wat is het relatieve belang van transmissie ten opzichte van de haze?

4.4 Metingen

4.4.1 Klimaatregistratie

De setpoints en het gerealiseerde klimaat in de kassen werden elke 5 minuten geregistreerd met de klimaatcomputer (Hoogendoorn ISIi). Daarbij werden de kasluchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, CO₂-concentratie, raamstand, globale straling en het PAR licht in de kas gemeten en opgeslagen.

Het microklimaat in het gewas werd vanaf eind januari tot en met eind oktober gemeten door draadloze sensoren te plaatsen tussen de tomatenplanten in een rij. Ze werden op 3 plaatsen in de rij en op 2 hoogtes gehangen, in totaal 6 sensoren per kascompartiment. De laagste sensor hing net boven de afrijpende vruchten en de hoogste sensor op 0.5 m onder de kop van de plant. Meetwaarden werden elke 5 minuten geregistreerd en gemiddeld per hoogte in de kas.

4.4.2 Lichtmetingen

4.4.2.1 Globale straling en diffuus lichtmetingen

De globale straling werd gemeten met een solarimeter boven de kassen bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk. Er werd daarnaast een tweede solarimeter geplaatst met een zogenaamde 'schaduwring' die ervoor zorgt dat er onderscheid gemaakt kon worden in de perioden met diffuse straling en met directe straling. Op deze wijze is er een indruk gekregen van de verdeling diffuus en direct licht.

4.4.2.2 PAR metingen

Metingen van het lichtintensiteit (PAR) in de kas zijn uitgevoerd met een LiCor Line quantum sensor (LI-191) met een lengte van 100 cm. De sensoren waren in de kas opgehangen net boven de kop van het gewas, middenin elke kasafdeling.

4.4.2.3 Lichtverdeling in de kas

Lichtverdeling in de kas is gemeten met een LiCor Line quantum sensor (LI-191). De lichtintensiteit van het zonlicht op gewashoogte werd op meerdere plaatsen in elk van de 5 bedden gemeten (randbedden werden niet meegenomen). Gemiddelde lichtintensiteiten zijn berekend voor de hele kas.

4.4.2.4 Spectrale metingen

De doordringing van de verschillende kleuren licht (lichtspectrum tussen 350 nm en 900 nm) door het kasdek werd gemeten met een Jaz spectrale meter van Ocean Optics. De metingen zijn uitgevoerd op gewashoogte zowel op een aantal zonnige als bewolkte dagen.

4.4.2.5 Lichtonderschepping

Om de lichtverdeling in het gewas onder invloed van diffuus glas te analyseren werden op verschillende hoogtes metingen van de lichtintensiteit van de kop van het gewas tot de teeltgoot uitgevoerd. Metingen werden uitgevoerd op een bewolkte dag (onder diffuus licht-condities) met behulp van een Sunscan Canopy analysis systeem (Delta-T Ltd, UK). De Sunscan met een lengte van 75 cm werd elke 25 cm tussen de kop van het gewas en de mat dwars in de rij gestoken. Tegelijkertijd werd er een referentiemeting uitgevoerd boven het gewas om de relatieve lichtintensiteit te bepalen; deze geeft de mate van lichtonderschepping aan.

4.4.3 Plantregistraties, morfologie en fysiologie

4.4.3.1 Plantregistraties

Om veranderingen in de gewasmorfologie als gevolg van de verschillende belichtingssystemen te bepalen, is wekelijks de gewasgroei gemonitord.

Wekelijks zijn per afdeling bij 2 x 8 planten (met de extra stengels erbij 2 x 12 stengels) in 2 telvakken de volgende parameters geregistreerd:

- lengtegroei
- kopdikte (ter hoogte van de top van de plant in de voorgaande week)
- bladlengte (eerste blad onder de bloeiende tros)
- bloeiende tros
- aantal gezette vruchten
- plantbelasting

4.4.3.2 Plantmorfologie en destructieve oogst

Ook werden enkele malen een destructieve bepaling uitgevoerd. Bij de destructieve bepalingen werden 5 à 6 planten per behandeling geanalyseerd. De volgende parameters werden bij de destructieve bepalingen geanalyseerd:

- Versgewicht bladeren en stengel apart per plant [g]
- Drooggewicht bladeren en stengel per plant [g]
- Bladoppervlak [m²]
- LAI per plant (leaf area index) [m² m⁻²]
- SLA per plant (specific leaf area) [cm² g⁻¹]

Van iedere keer dat er onderaan de plant bladeren werden geplukt, zijn bladeren gedroogd om het drogestofgehalte te bepalen. Op drie data, namelijk 5 juni, 6 juli en 4 oktober, is het drogestofgehalte van vruchten bepaald.

4.4.3.3 Gewastemperatuur

De gewastemperatuur werd gemeten met IR planttemperatuurcamera's (Brinkman). De camera's werden 50 tot 75 cm boven het gewas opgehangen in een hoek van ca. 80° (t.o.v. horizontaal) om de temperatuur in het bovenste deel (ca. 1.5 tot 3 m²) van het gewas te meten. Incidentele metingen van bladtemperatuur zijn uitgevoerd met een hand-held thermo-hygrometer/laser pyrometer (Humiport 05 IR). Daarmee werden 10 tot 30 bladeren bovenin en onderin het gewas gemeten.

4.4.3.4 Wateropname

De watergift per kas werd berekend aan de hand van de gift per minuut van de druppelaars vermenigvuldigd met de druppeltijd. De drain werd van de hele kasafdeling gemeten en geregistreerd via de klimaatcomputer.

4.4.3.5 Fotosynthese metingen

De fotosynthesecapaciteit werd in 2011 gemeten in week 3 en 12 met een fotosynthesemeter (Licor 1800-14, USA) met een bladkamer van 2.0 cm². Door de fotosynthese onder vaste klimaatcondities (700 ppm CO₂, 21°C, en circa 85% RV in de bladkamer) met toenemende lichtintensiteiten te meten, werd de fotosynthesecapaciteit gemeten; dat wil zeggen de hoeveelheid CO₂ dat het blad opneemt onder deze specifieke condities. Dit maakt het mogelijk om alle metingen gedurende de dag en in de verschillende kasafdelingen onderling te vergelijken. Metingen werden gedaan aan bladeren bovenin en onderin het gewas. De metingen werden uitgevoerd op een volgroeid blad, dat niet beschaduwd werd door bovenliggende bladeren.

4.4.3.6 SPAD metingen

Met een SPAD meter (Minolta SPAD-502) is de lichttransmissie door het blad bepaald. Dit geeft een indruk van de hoeveelheid chlorofyl in het blad. De meting is uitgevoerd bij 20 planten per behandeling. Hierbij is gemeten aan een volgroeid blad bovenin het gewas.

4.4.4 Productie metingen

4.4.4.1 Bloeisnelheid en uitgroeiduur

Het ontstaan van nieuwe trossen is wekelijks bijgehouden. Bij het ontwikkelen van de trossen is regelmatig de tros gelabeld en geregistreerd bij de bloei van de tweede bloemetje. Vervolgens is bij het oogsten ervan de oogstdatum geregistreerd om de uitgroeiduur van de tros te bepalen.

4.4.4.2 Productie

In het begin is wekelijks geoogst; vanaf week 17 vond de oogst 3 maal per 2 weken plaats.

Het gemiddelde vruchtgewicht werd berekend op basis van het gewicht en aantal vruchten binnen de velden met waarnemingsplanten. De oppervlakte van de 2 velden met de waarnemingsplanten bedroeg in totaal 6.4 m² per afdeling. De kiloproductie is gemeten van alle planten van 3 carrousels (dubbele rijen) per kas. Deze carrousels bevonden zich zoveel mogelijk aan de noordkant van de kas om eventuele beïnvloeding van de ernaast liggende behandelingen te voorkomen. Langs de gevel was er een randrij die als buffer diende.

Van de 2 veldjes per afdeling zijn de volgende waarnemingen verricht:

- Aantal trossen
- Trosnummer geoogste tros
- Nettogewicht in kg
- Aantal goede vruchten
- Aantal neusrot en gescheurd

Het gemiddelde vruchtgewicht per behandeling is berekend op basis van het gewicht en aantal vruchten binnen de velden met waarnemingsplanten. De oppervlakte van de 2 velden met de waarnemingsplanten bedroeg in totaal 6.4 m² per afdeling.

4.4.4.3 Kwaliteit

Vanaf april zijn er maandelijks tomaten weggezet voor de houdbaarheid; in totaal 7 maal. Per inzetdatum zijn er daarbij meestal 8 trossen met in totaal 21 tot 24 vruchten per kasafdeling bewaard bij 20 °C en 80% RV. De inzetdata waren respectievelijk 7 april, 9 mei, 22 juni, 20 juli, 10 augustus, 19 september en 17 oktober.

Met behulp van het smaakmodel van Wageningen UR Glastuinbouw is de smaak berekend op respectievelijk 1 april, 12 mei, 24 juni, 22 juli, 10 augustus, 21 september en 19 oktober. Als onderdeel van deze bepaling is ook het % sap, zuurgehalte en de refractie gemeten.

Het vitamine C-gehalte (ascorbinezuur) is drie maal bepaald op respectievelijk 1 april, 22 juli en 29 september.

4.4.5 Energieverbruik

Het energiegebruik is bepaald door aan de hand van de buistemperaturen, buisdiameters en buislengte en de kasluchttemperatuur het afgegeven vermogen te berekenen. Op afdelingsniveau (groeibuis + buisrail) zijn de verschillen tussen het berekende energiegebruik minder dan 4%.

4.5 Kosten-baten analyse van diffuus glas en coating

Om een kosten-baten analyse van een diffuus glasdek voor een tomatenteler te maken, is er een aantal berekeningen uitgevoerd. De berekeningen gaan uit van drie glasdektypes die in het experiment zijn gebruikt (45%, 62% en 71%), de extra productie die onder elke glastype is gerealiseerd, en 2 niveau's van de extra kosten van het glas. Met behulp van de KWIN cijfers voor een tomatenteelt (code G49) voor de productie en productprijs (prijsspeil 2005-2009) is het saldo en terugverdientijd voor de drie types diffuus glas berekend. Het saldo is het verschil tussen de extra opbrengsten en de extra kosten t.g.v. diffuus glas en omvat de kosten van het glas. De terugverdientijd is bepaald door de investering te delen door het saldo, exclusief de kosten van het glas. Dezelfde berekeningen zijn uitgevoerd voor de ReduFuse coating.

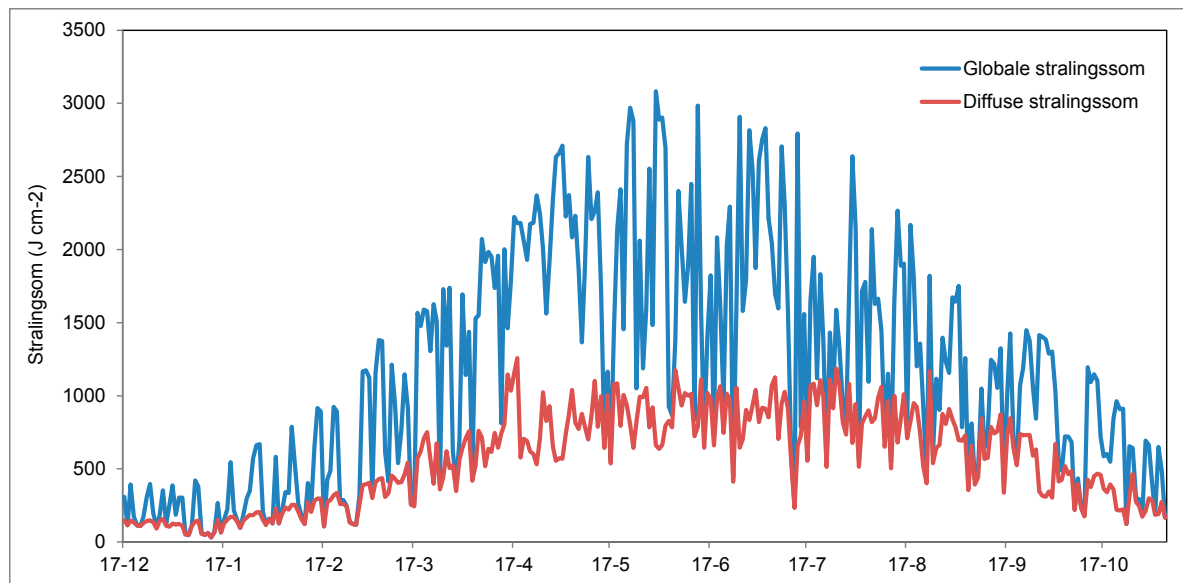
5 Resultaten & Discussie

5.1 Optimalisatie van de teelt

In overleg met de BCO is vooraf besloten om geen verschillen in stengeldichtheid tussen de verschillende afdelingen aan te brengen, maar te optimaliseren door indien nodig verschillen in klimaatinstellingen en eventueel trossnoei aan te brengen.

Vanaf eind maart ontstonden er tussen de behandelingen verschillen in gewasstand. In de afdelingen met diffuus glas met een haze van 62 en 71% stond het gewas het sterkst, maar nog niet te sterk. Vanaf half april zijn er bewust verschillen gemaakt in klimaatinstellingen tussen de 2 afdelingen met helder glas enerzijds en de 3 afdelingen met diffuus glas anderzijds. Bij donker en zonnig weer mocht de temperatuur respectievelijk 1 en 0.5 °C lager zijn in de kassen met helder glas dan in de afdelingen met diffuus glas. De verschillen in werkelijk gerealiseerde etmaaltemperatuur waren echter in deze periode minder groot, namelijk ca. 0.3 à 0.4 °C. Vooral door meer of minder te ventileren is getracht om deze temperatuurverschillen gedurende langere tijd te handhaven.

Door het aanbrengen begin mei van een zware ReduFuse coating, ontstond er behoorlijk wat lichtverlies, waardoor het gewas bij deze behandeling een vrij vegetatieve stand met een zwakkere kop kreeg. De klimaatinstelling in deze kas was meestal gelijk aan die in de referentiekas. Door het lichtverlies, ook na het vervangen van de coating door een lichtere coating, was de gerealiseerde temperatuur in de gecoate kas veelal iets lager dan in de kas met helder glas. Ten opzichte van de kassen met diffuus glas oogde het gewas in beide kassen vaak vegetatiever.



Figuur 1. De globale en diffuse stralingsom ($J\text{ cm}^{-2}$) per dag in Bleiswijk gedurende de teelt.

5.2 Klimaatcondities

5.2.1 Globale straling en diffuus licht

In Figuur 1. is de globale en diffuse stralingsom in Bleiswijk weergegeven tijdens een groot gedeelte van het experiment. Gemiddeld over de hele meetperiode bestaat 51% van de globale straling uit directe straling en dus 49% uit diffuse straling. In de figuur is te zien dat in april en begin mei er relatief veel directe straling is geweest. Dit geldt ook voor de eerste 2 weken van juli. Rond 15 september was er een periode met een groot aandeel van diffuus licht.

In Bijlage I is het aandeel diffuus licht als fractie van globale straling weergegeven, uitgedrukt op weekbasis. Daarin is te zien dat er in Bleiswijk in 2011 ca. 50% van de globale straling bestond uit diffuse straling. In de tweede figuur in Bijlage I is de gemiddelde, maximum en minimum aandeel van diffuse straling als fractie van de globale straling in Wageningen, gemiddeld over de laatste 11 jaar weergegeven. In de winter is het aandeel aan diffuus licht ca. 70% en in de zomer 55-60%, iets hoger dan wat in Bleiswijk gemeten is gedurende dit experiment.

5.2.2 Kasklimaat

In Tabel 2. zijn de gemiddelde waardes voor temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en vochtdeficiet gegeven over de hele teeltperiode. De verschillen in de kastemperatuur tussen de verschillende behandelingen zijn gering. Over de gehele teeltperiode is de gemiddelde dag- en etmaaltemperatuur in de kassen met diffuus glas 0.1 tot 0.2 °C hoger dan bij de referentie en coating. Dit komt vooral omdat er overdag in de kassen met een diffuus kasdek vanaf half april een wat hogere ventilatietemperatuur is ingesteld. In de periode daarvoor waren er geen temperatuurverschillen. Dit temperatuurverschil komt ook bij de DIF (verschil dag nacht temperatuur) terug.

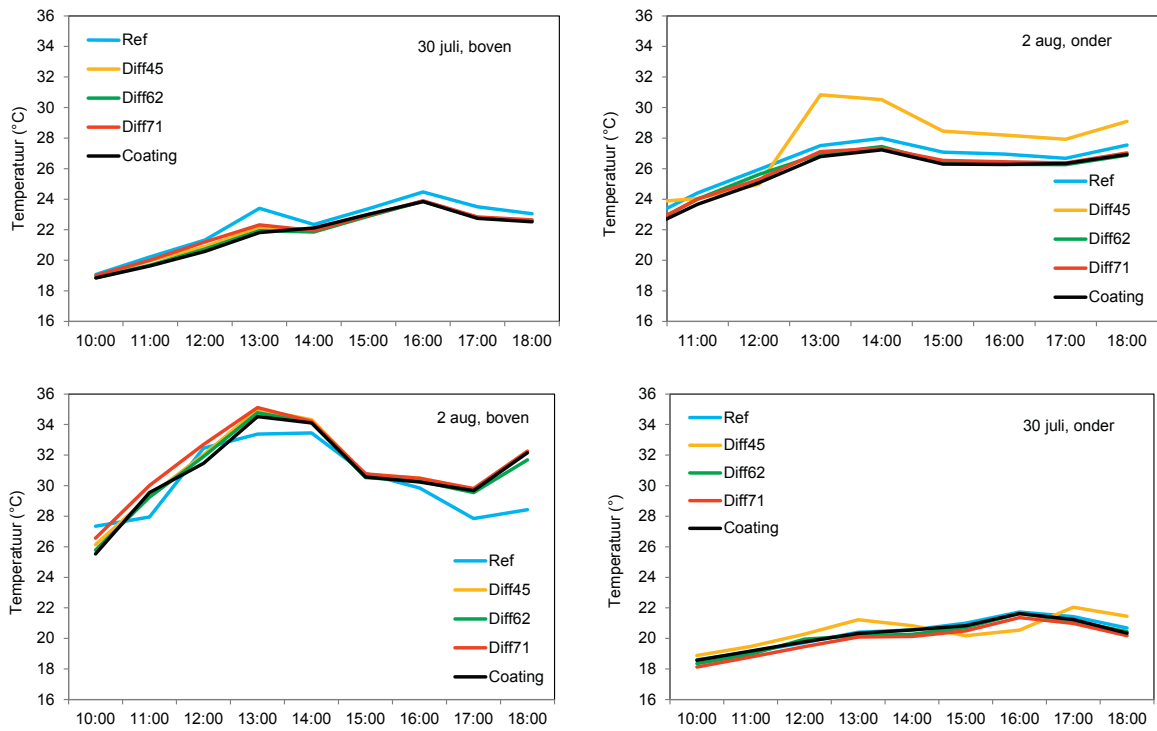
In RV zijn de verschillen gering: de RV in de kas met 71% haze lijkt iets lager en het vochtdeficiet iets hoger te zijn dan in de andere kassen, waarvoor niet direct een verklaring is te geven. Wel is het zo dat de relatieve verschillen in VD constant zijn door de hele teelt, dus een continu hoger VD in Diff71.

Tabel 2. De etmaal temperatuur en DIF (°C), RV (%) en VD ($g\ m^{-3}$) in de kassen onder de verschillende behandelingen.

| | Type kasdek | | | | |
|--------------|-------------|--------|--------|--------|---------|
| | Ref | Diff45 | Diff62 | Diff71 | Coating |
| Dag temp. | 21.5 | 21.5 | 21.7 | 21.7 | 21.5 |
| Etmaal temp. | 19.4 | 19.5 | 19.6 | 19.6 | 19.4 |
| DIF | 4.6 | 4.6 | 4.7 | 4.7 | 4.5 |
| RV dag | 74 | 74 | 73 | 72 | 74 |
| RV etmaal | 77 | 77 | 77 | 75 | 78 |
| VD dag | 5.2 | 5.3 | 5.4 | 5.6 | 5.1 |
| VD etmaal | 4.1 | 4.2 | 4.2 | 4.4 | 4.0 |

5.2.3 Verticale temperatuurverdeling van de kaslucht

Omdat in eerder onderzoek naar het effect van diffuus licht op het kasklimaat bij komkommer (Dueck *et al.* 2009) een koeler, aangener klimaat is waargenomen onder diffuus glas, is bij deze tomatenteelt het kasklimaat in een verticaal traject gemeten. Dit in aanvulling op de gemiddelde waardes aangegeven in Tabel 2. In onderstaande figuur wordt het dagverloop op een bewolkte en een zonnige dag gegeven. In dit voorbeeld (30 juli) van een bewolkte dag (100% diffuus licht) zijn de verschillen in temperatuur te verwaarlozen. Het lijkt erop dat de temperatuur bovenin het gewas bij de referentie iets hoger is dan bij de overige behandelingen, maar onderin het gewas is een vlak beeld van het temperatuurverloop te zien.

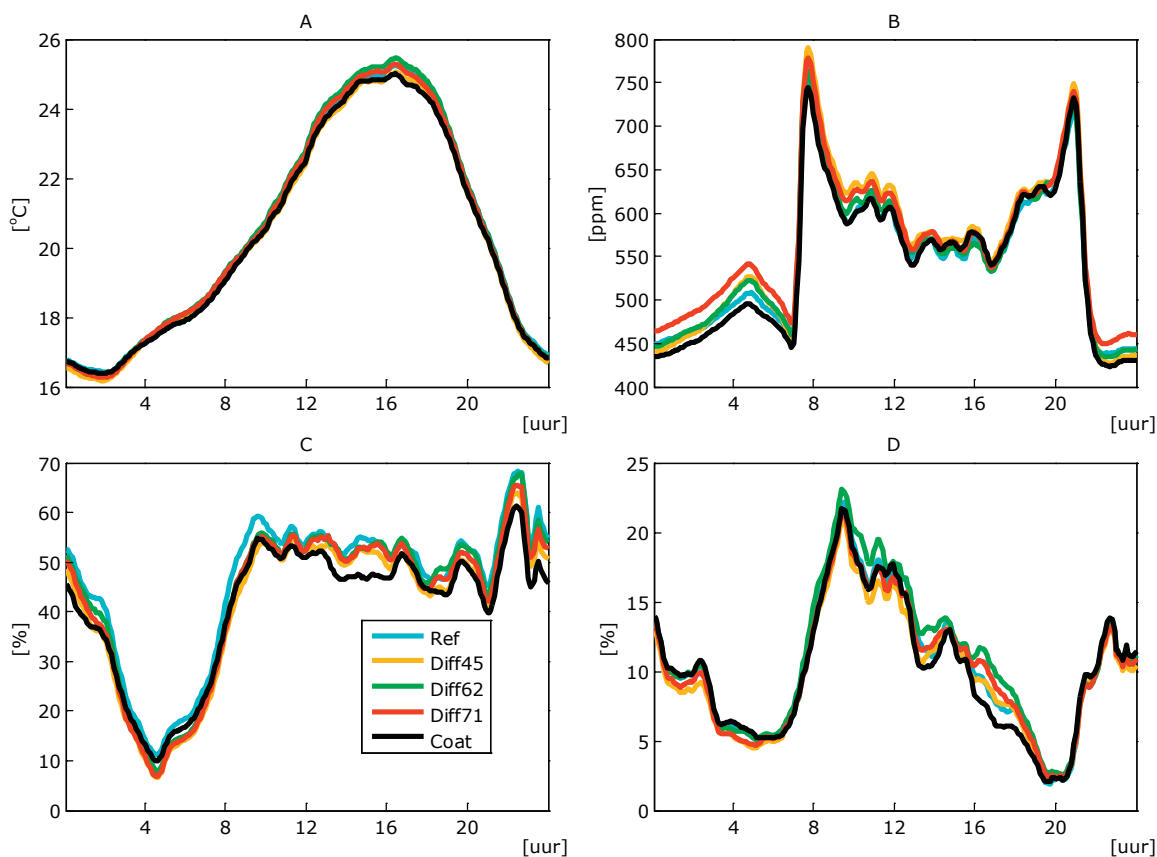


Figuur 2. Dagverloop van de temperatuur in het gewas, gemeten op 2 hoogtes op een bewolkte dag (30 juli, 2011) en een zonnige dag (2 augustus, 2011).

Op een zonnige dag (2 augustus) werd dan ook een lagere temperatuur verwacht onder diffuus glas. Dit lijkt echter niet het geval; de temperatuur bij de referentie is iets lager dan bij de diffuus licht behandelingen. De temperatuur stijgt rond het middaguur naar ongeveer 35°C, wat waarschijnlijk tot een verhoogde bladtemperatuur leidt, gevolgd door stress. Een gedetailleerd dagverloop wordt later in het rapport gegeven en besproken in relatie tot de bladtemperatuur (zie Figuur 15.).

5.2.4 CO₂-concentratie, -dosering en ventilatie

Wordt er in een kas met een diffuusdek een andere CO₂ concentratie gerealiseerd? Op basis van de transmissie-eigenschappen is dit niet direct te verwachten, immers de warmtebelasting van de afdelingen zal vrijwel gelijk zijn waardoor bij gelijke setpoints ook een gelijke ventilatiebehoefte zal ontstaan. Om de gewassen echter optimaal te sturen zijn vanaf half april verschillende setpoints nagestreefd. Hierdoor zal een andere ventilatie behoefte kunnen ontstaan. Om dit te verduidelijken is in Figuur 3. van de maand juni het cyclisch gemiddelde van de kasluchttemperatuur, de gerealiseerde CO₂-concentratie en de raamstand van zowel de luwe als windkant gegeven.



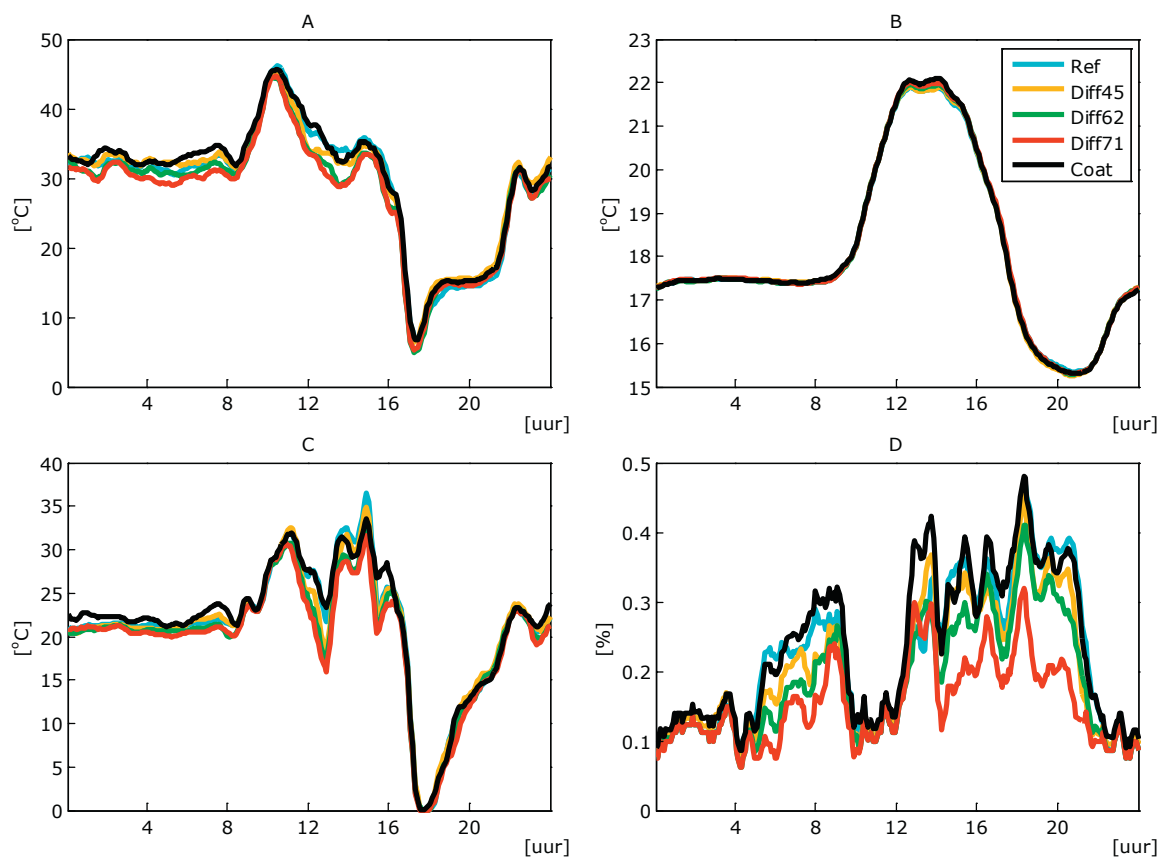
Figuur 3. Cyclisch gemiddelde van de kasluchttemperatuur (A), de gerealiseerde CO₂-concentratie (B) de raamstand aan de luwe kant (C) en de raamstand aan de windkant (D).

In de ReduFuse coating afdeling wordt 's middags duidelijk wat minder geventileerd (C). Dit is het gevolg van de coating (lagere transmissie en dus een kleinere warmtebelasting), wat ook in de achterblijvende kasluchttemperatuur naar voren komt (A). Daarnaast was er ook een ander setpoint ingesteld. In de CO₂-concentratie komt dit niet tot uitdrukking (B). Verschillen in CO₂-concentratie, als ze al gevonden worden vallen in de meetnauwkeurigheid van de CO₂-sensor weg. De CO₂-dosering verloopt gelijk op met de concentraties. Ook de totale hoeveelheid gedoseerde CO₂ verschilt tussen de afdelingen minder dan 2%.

5.2.5 Energie

Een in de praktijk veel gehoorde mening is dat onder diffuus glas op bepaalde momenten harder gestookt moet worden. Als dat zo zou zijn, wat gezien de materiaaleigenschappen van de hier toegepaste kasdekmaterialen niet te verwachten is, zou dat uit deze proef moeten blijken.

In Figuur 4. is de cyclisch gemiddelde temperatuur van de buisrail (A), groeibuis (C), kaslucht (B) en de raamstanden (D) over de periode 15 januari tot en met 15 februari getoond. De twee afdelingen naast de experimentele kassen waren op een vergelijkbare temperatuur gebracht als in het experiment: in de ene kas werd aubergine geteeld en de andere kas was leeg, maar verwarmd. Ook de corridors aan de voor- en achterkant van de kassen werden verwarmd om energieverlies te voorkomen. De gerealiseerde kasluchttemperatuur laat geen verschillen zien, wat ook te verwachten is gezien de gelijke setpoints die in deze periode nog in alle afdelingen werden aangehouden. Er zijn wat kleine onderlinge verschillen tussen de afdelingen waarbij Diff71 en ReduFuse coating het meest opvallen. Dit is mogelijk ook het gevolg van het net iets vaker ventileren in de coating afdeling en minder in de Diff61 afdeling (D). Er is echter zeker geen trend te ontdekken in een afdeling waar consequent harder of juist eerder gestookt zou moeten worden. De buistemperatuur kan gemiddeld onder de gerealiseerde kasluchttemperatuur uitkomen omdat bij het wegvallen van de warmtevraag de buistemperatuur op 0 wordt gezet. Op maandbasis zijn de verschillen minder dan 4%.

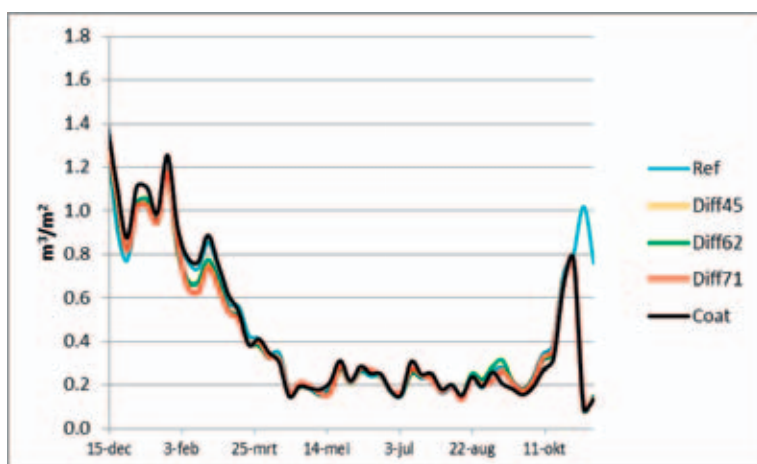


Figuur 4. Cyclisch gemiddelde van de buisrailtemperatuur (A), groeibuistemperatuur (C), kasluchttemperatuur (B) en de raamstanden (D) over de periode 15 januari tot en met 15 februari, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde van 30 minuten.

Tabel 3. Energiegebruik ten behoeve van de verwarming tijdens de teeltperiode.

| Afdeling | Gebruik [m ³ a.e. m ⁻²] | Relatief gebruik |
|----------|--|------------------|
| Ref | 21.0 | 100% |
| Diff45 | 21.8 | 103% |
| Diff62 | 20.5 | 98% |
| Diff71 | 20.3 | 96% |
| Coating | 21.4 | 102% |

Ook de verschillen in jaargebruik zijn klein. In Figuur 5. is het weekgebruik in m³ m⁻² aardgasequivalenten getoond. Aan het eind van de teelt is de referentie iets langer doorgestookt omdat deze kas ook als referentie diende voor een ander project. In de zomermaanden zijn er geen verschillen zichtbaar. In de echte stookperiode van teeltstart tot eind maart neigen de coating en referentie afdelingen naar een iets hoger gebruik. Dit kan zeker in de eerste maand goed verklaard worden uit de lege buurafdelingen. De jaartotalen uitgedrukt in aardgasequivalenten zijn in Tabel 3. gegeven. Voor deze somming is de teeltverlenging van de Ref afdeling buiten beschouwing gelaten. De getoonde gebuiken lijken maar zijn ook laag. Bij een 1 op 1 vertaling naar praktijkbedrijven moet echter wel rekening gehouden worden met een zeer beperkt gevelverlies in deze afdelingen en dat de aanvoer- en retoursystemen van de verwarmingsgroepen een behoorlijke bijdrage aan de verwarming van deze afdelingen leveren die niet in de energiegebruiken als getoond in Tabel 3. zijn verdisconteerd.



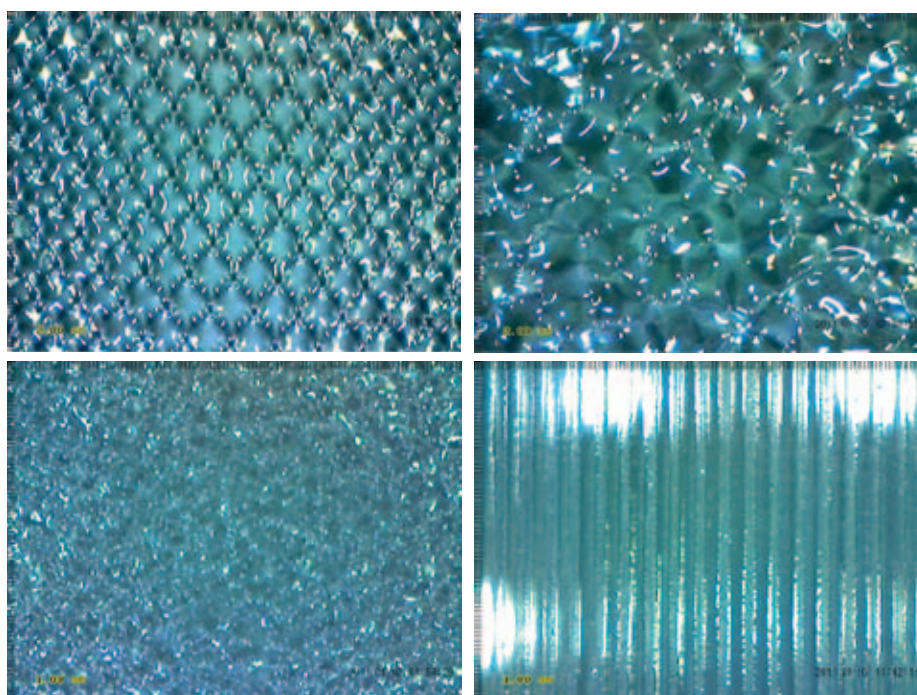
Figuur 5. Energie - weekgebruiken van de 5 proefafdelingen.

5.3 Lichtmetingen

5.3.1 Lichttransmissie

Tabel 4. Eigenschappen van de glastypees die in het experiment zijn gebruikt.

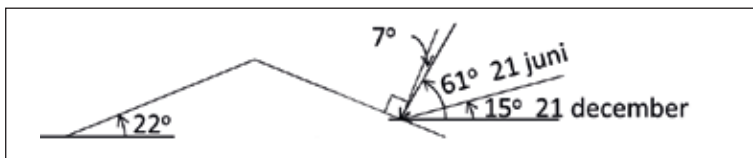
| Glas type | Haze factor (%) | Hemisferische transmissie | | Loodrechte transmissie |
|------------|--------------------|---------------------------|------------|------------------------|
| | | (%) | t.o.v. Ref | (%) |
| Referentie | 0 | 82.7 | 100 | 89.8 |
| Diff45 | 45 | 82.6 | 100 | 92.4 |
| Diff62 | 62 | 85.4 | 103 | 93.9 |
| Diff71 | 71 | 82.9 | 100 | 93.6 |
| Coating | 50 | 78.0 | 94 | 89.7 |



Enkele voorbeelden van diffuus glas.

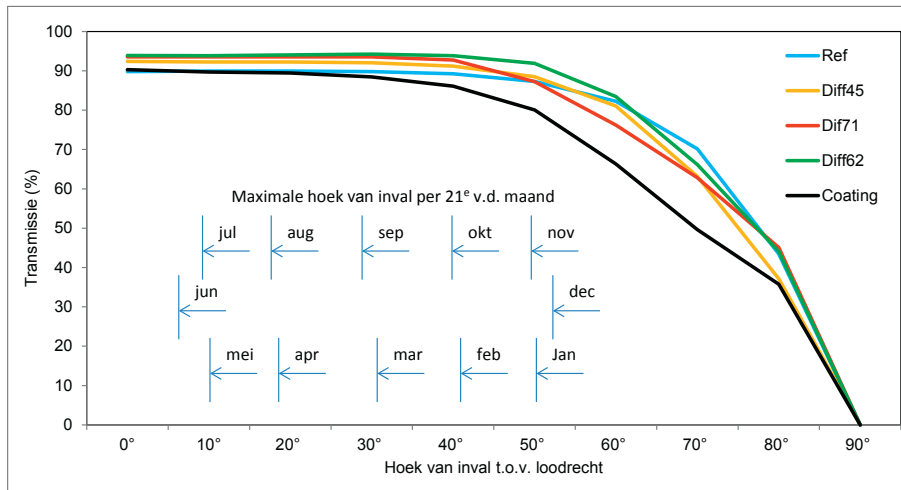
In Tabel 4. zijn de eigenschappen van de glastypes in elke behandeling weergegeven zoals gemeten in Wageningen. De referentie is het standaardglas dat in het algemeen in de glastuinbouw wordt gebruikt, met een haze factor van 0% en 83% hemisferische transmissie. Ten opzichte van de referentie hebben de diffuus glastypen een oplopende haze factor, en Diff45 en Diff71 een zeer vergelijkbare hemisferische transmissie met die van de referentie. In afwijking daarvan heeft het diffuus glastype Diff62 een hogere hemisferische transmissie, ruim 85% waardoor verwacht mag worden dat er een hogere productie gerealiseerd kan worden. De ReduFuse coating is twee keer opgebracht. De eerste keer op 4 mei met een verdunning van 1:6. Metingen hieraan gaven aan dat de hemisferische transmissie veel lager was dan gewenst, ca. 71% met een haze factor van ca. 70%, zodat besloten werd de coating op 26 mei van het kasdek te verwijderen en met een lagere verdunning opnieuw op te brengen. Vervolgens is de ReduFuse coating verdund 1:8 en op 3 juni opnieuw opgebracht, met het resultaat zoals vermeld in Tabel 4. Hiermee is het experiment de zomer ingegaan.

In Figuur 6. wordt de lichttransmissie bij verschillende hoeken van inval weergegeven. De lichttransmissie voor een type glas bij de invalshoeken van 0° tot 90° werd berekend volgens Out & Breuer (1995) en geeft de hemisferische transmissie weer die wordt gebruikt als één van de eigenschappen van het glas (Tabel 4.). Hier is te zien dat er weinig verschil is tussen de glastypes gemeten tussen 0° en 30° (benadering van loodrechte transmissie). De waarden liggen allemaal boven de 90%. Daarna pas wordt de transmissie van de ReduFuse coating snel minder, waardoor de hemisferische transmissie uiteindelijk op 78% uitkomt.



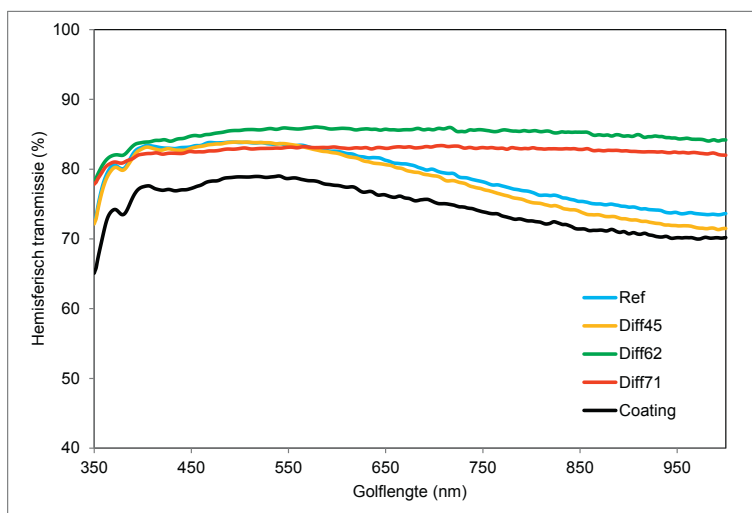
Daarnaast is in Figuur 6. de maximale hoek van inval, ongeveer rond 13 uur, aangegeven voor de 21^e dag van elke maand bij een kas met een dekhelling van 22°. De nokorientatie is zodanig dat als de zonelevatie het hoogste punt heeft bereikt, de nokrichting daar loodrecht op staat (oost-west nok). Het spreekt voor zich dat de hoek van inval in de voorjaars- en zomermaanden relatief klein is en varieert tussen 5° en 25°. Met deze invalshoek komt er veel meer direct zonlicht de kas in dan in de winterperiode en in deze periode wordt het effect van diffuus glas relatief ook groter, vooral als het diffuus maken van het glas niet ten koste gaat van de transmissie. In de wintermaanden is er dan ook weinig verschil in de maximale transmissie tussen de diffuse glastypes, omdat er met een AR coating geen extra lichtverlies is t.o.v. de referentie. In het invalgebied van 40° tot 50°, de maximale invalshoeken in de winter, is de hogere transmissie van Diff62 goed zichtbaar. In de winter zou er van Diff62 een klein voordeel te verwachten zijn in de vorm van een iets hogere lichttransmissie.

De maximale hoek van inval is op de langste dag dus ca. 7° ten opzichte van de normaal van het kasdek dat onder een hoek van 22° ligt. De elevatie van de zon is nu eenmaal niet meer dan 61° op de langste dag. Op de kortste dag is de elevatie van de zon slechts 15°. De hoek van inval ten opzichte van de normaal is dan maximaal 53°. Deze waarden gelden bij een nokrichting die zuiver oost-west is.



Figuur 6. De gemeten lichttransmissie bij verschillende invalshoeken van het licht ten opzichte van loodrecht.

Naast de hoeveelheid licht die door het glasdek komt, kan het type glas ook invloed hebben op het spectrum, de golflengtes of kleuren van het licht. Daartoe is de transmissie van de 5 glasdekken spectraal gemeten in het laboratorium. De hemisferische transmissies zijn weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7. Spectrale hemisferische lichttransmissie van de verschillende kasdektypen.

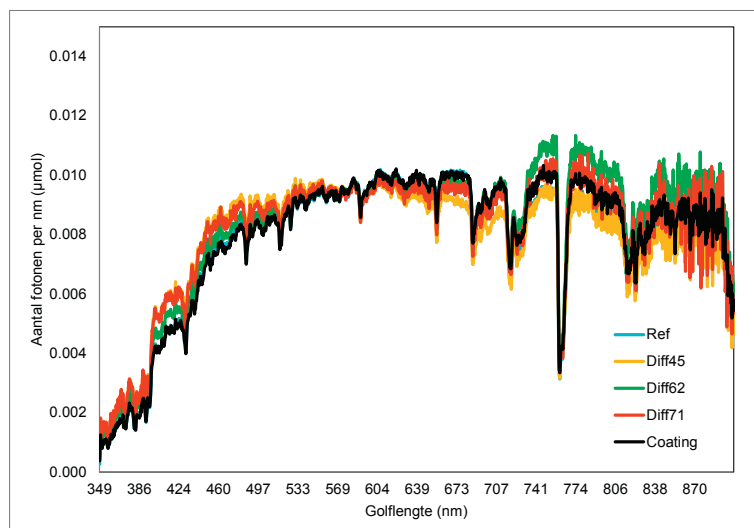
Daarnaast is in Tabel 5. de hemisferische transmissie weergegeven voor een aantal gebieden in het spectrum tussen 350 en 1000 nm. In Figuur 7. valt het op dat er beduidend minder licht door standaard glas met ReduFuse coating doorgelaten. Dat vertaald zich dan ook in de berekende transmissie van 78% in het PAR gebied, dat gehanteerd wordt voor de totale hemisferische transmissie van de kasdek. Vervolgens valt de structureel hoger transmissie van Diff62 op in alle golflengtes, en niet alleen in het PAR gebied. Het lijkt erop dat Diff62 en Diff71 enkele procenten meer UV-straling doorlaten dan de overige drie glastypes. Stuurlichteffecten in het blauwe (ca. 450 nm) worden niet verwacht, maar stuurlichteffecten van verrood licht (ca. 750 nm) lijken wel mogelijk, al zijn de verschillen in de rood:verrood verhouding niet groot. De transmissie van de glastypes met de hoogste haze factor (Diff62 en Diff71) en die met een lagere haze factor (Ref, Diff45 en de ReduFuse coating) vertonen steeds groter wordende verschillen vanaf ca. 650 nm. Dit suggereert dat meer rood licht, verrood licht en zeker de NIR straling tot 1000 nm het gewas kan bereiken onder de Diff62 en Diff71 glastypes.

Tabel 5. Hemisferische lichttransmissie (%) in verschillende gebieden van het lightspectrum van de verschillende kasdektypen.

| Golflengte (nm) | Type kasdek | | | | |
|-----------------|-------------|--------|--------|--------|---------|
| | Ref | Diff45 | Diff62 | Diff71 | Coating |
| 350-400 | 80 | 79 | 82 | 81 | 73 |
| 400-500 | 83 | 83 | 85 | 82 | 78 |
| 500-600 | 83 | 83 | 86 | 83 | 79 |
| 600-700 | 81 | 81 | 86 | 83 | 76 |
| 700-1000 | 76 | 74 | 85 | 83 | 72 |
| 400-700 | 83 | 82 | 85 | 83 | 78 |

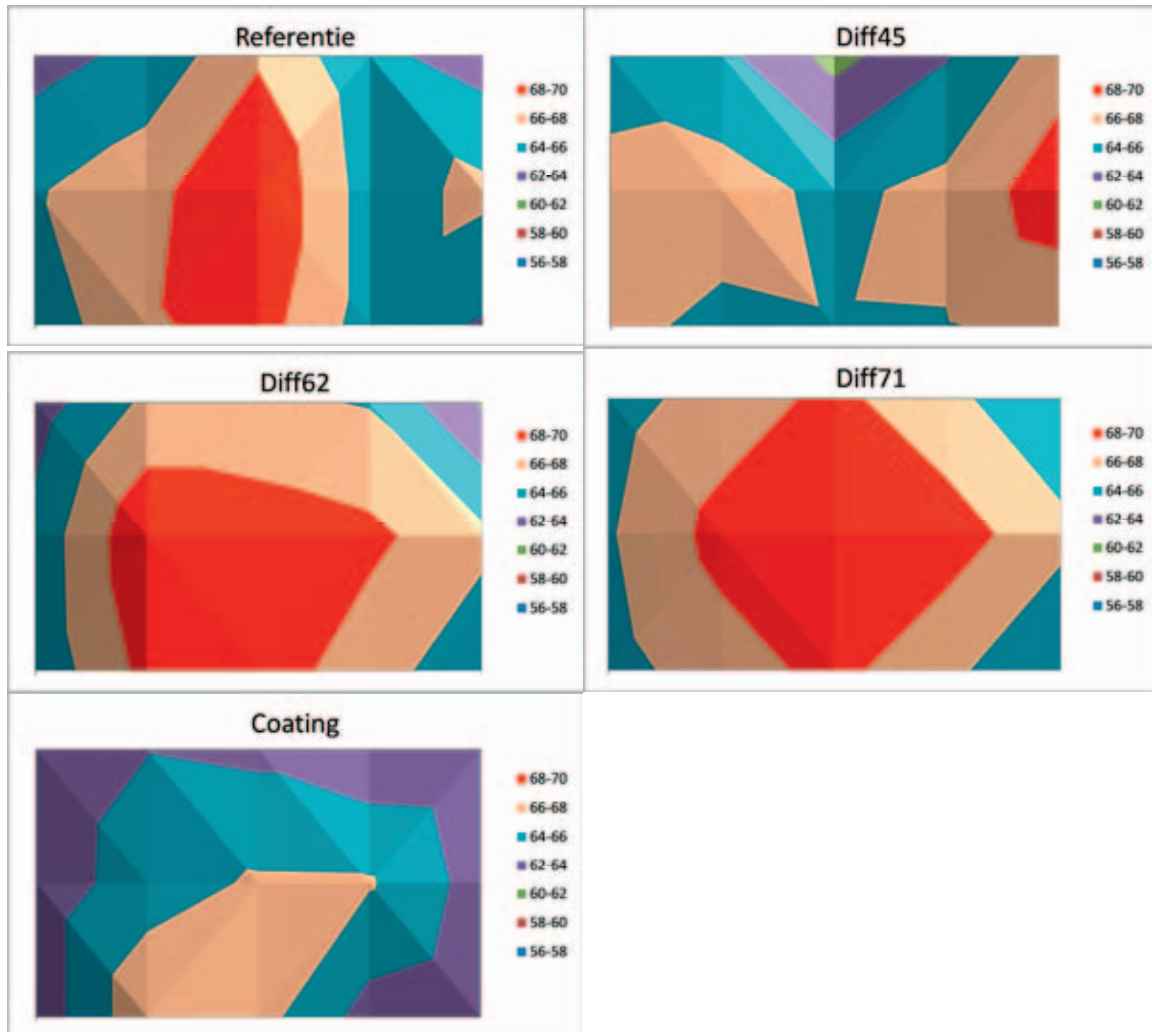
Het spectrum van zonlicht dat het gewas bereikt is afhankelijk van wat een kasdek doorlaat. Daarom is de spectrale lichttransmissie van de verschillende kasdektypen gemeten in de kassen. Van nature zijn er kleine verschillen in het momentane spectrum en intensiteit van het zonlicht, alsook verschillen door invloeden van de atmosfeer en kasdekconstructie. Verschillen in lichtintensiteit doordat de metingen in de tijd zijn uitgevoerd (ongeveer 15 minuten tussen metingen) zijn klein en zijn te zien in Appendix I. Om het verloop van de lichttransmissie onder de verschillende kasdekken beter te kunnen vergelijken zijn de spectra genormaliseerd zoals uitgelegd in Appendix I. In Figuur 8. is het resultaat hiervan weergegeven voor de 5 kasdekken in het experiment.

De spectra lijken in het algemeen vrij veel op elkaar, al treden er in sommige gebieden wat verschillen op. Tot aan ca. 600 nm lijken de ReduFuse coating en de referentie (referentielijn ligt strak onder die van de coating) in het algemeen minder fotonen in het gebied tot 600 nm door te laten, wat in overeenstemming is met de hemisferische transmissie van het glas zelf (Figuur 7.). In het gebied boven 700 nm (verrood en nabij infrarood) lijkt er het verschil tussen de diffuus glastypes (in Figuur 7.) ook hier goed zichtbaar te worden: Diff45, de referentie en ReduFuse coating laten minder straling door in dit gebied, terwijl Diff71 en vooral Diff62 meer doorlaten. In hoeverre dit tot een verhoging van de kastemperatuur kan leiden is niet duidelijk. Onder alle kasdektypen zijn er enkele scherpe dippen te zien wat waarschijnlijk te wijten is aan absorptie door zuurstof of vocht in de atmosfeer.



Figuur 8. Licht spectra gemeten op 19 augustus (zonnige dag) in de 5 behandelingen.

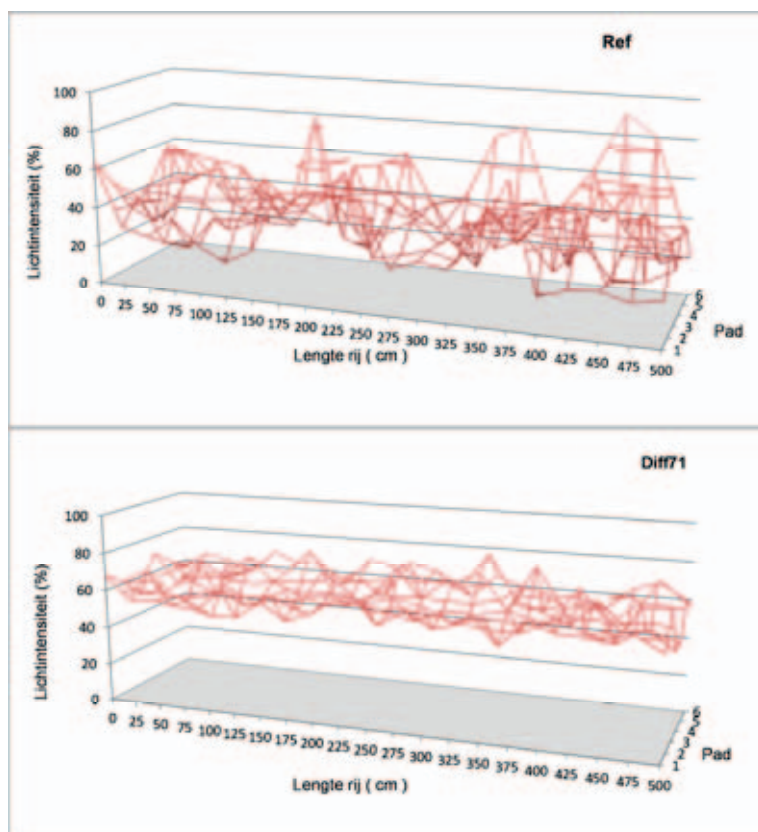
5.3.2 Horizontale lichtverdeling



Figuur 9. De horizontale lichtverdeling met lichtintensiteiten ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) op gewashoogte gemeten op 14 maart 2011.

De horizontale lichtverdeling in de kassen is gemeten in maart, nog voordat de ReduFuse coating opgebracht werd op het dek. De meting is dus uitgevoerd zonder coating op het dek. Desondanks is het duidelijk dat de behandeling met ReduFuse coating minder licht doorlaat dan de overige kasdektypes (Figuur 9.). De verschillen in gradaties lichtintensiteit zijn echter zeer klein (per $2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en de gemiddelde lichttransmissie in de behandelingen zijn: 66% (Ref), 66% (Diff45), 66% (Diff62), 67% (Diff71) en 64% voor de ReduFuse coating. Deze metingen zijn uitgevoerd op een bewolkte dag om bijvoorbeeld invloeden van bewolking en schaduwen van de kasdekconstructie te minimaliseren. De metingen weergegeven in Figuur 9. zijn bedoeld om een indicatie te krijgen van de homogeniteit van de lichtverdeling in de kas, en niet om de absolute lichttransmissie aan te geven.

Er is ook een meting uitgevoerd op een zonnige dag om het effect van een diffuus kasdek op de plaatselijke veranderingen in lichtintensiteit op de kop van het gewas na te gaan. In Figuur 10. worden de resultaten van de metingen in de referentie en Diff71 behandelingen weergegeven. De metingen zijn uitgevoerd 50 cm onder de kop van het gewas en zijn weergegeven in relatie tot de lichtintensiteit net boven het gewas.



Figuur 10. Horizontale lichtverdeling gemeten bovenin het gewas bij de referentie en Diff71 behandeling.

In de referentie (standaard glas) zijn er grote plaatselijke verschillen in lichtintensiteit te zien, namelijk een variatie van 40-80% van de lichtintensiteit die boven het gewas werd gemeten. Deze lokale verschillen zijn vooral te wijten aan kasconstructies en mogelijk ook apparatuur die in de kas hangt en schaduwwerking geeft. De horizontale lichtverdeling bij Diff71 daarentegen laat veel meer regelmaat en gelijkheid in lichtintensiteit bovenin het gewas zien. Ook vonden Johnson & Smith (2006) dat diffuus licht onderin het gewas homogener is dan direct licht. Hiermee komen er minder verschillen in lichtintensiteit in het gewas voor waardoor in het gewas een gelijkmatiger fotosynthese en meer groei gerealiseerd kan worden, zoals ook door Brodersen *et al.* (2008) werd gevonden.

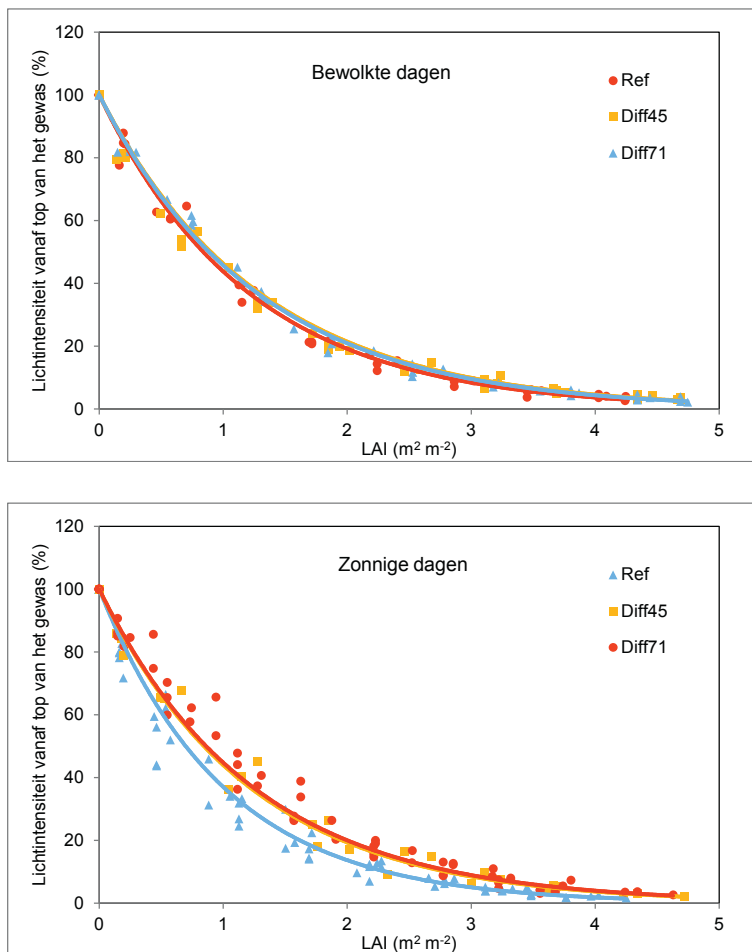
Het ontwikkelen van bladeren onder diffuus en direct licht kan een grote invloed hebben op de verdeling van licht in het gewas en de mate van lichtonderschepping (Sarlikioti *et al.* 2011). Bladeren die zich ontwikkelen onder diffuus licht zijn vlakker georiënteerd en staan meer loodrecht op de stengel dan bladeren die ontwikkeld zijn onder direct licht (Muraoka, 1998). Hierdoor wordt de lichtonderschepping onderin het gewas vergroot met als gevolg een grotere lichtbenutting. De Casas *et al.* (2011) suggereerden dat door deze veranderde oriëntatie, abiotische stress verminderd zou kunnen worden.

5.3.3 Lichtonderschepping

De lichtonderschepping wordt weergegeven als vermindering van de gemeten lichtintensiteit naarmate het dieper in het gewas wordt gemeten (Figuur 11.). Op een bewolkte dag komt het licht in de vorm van diffuus licht in de kas en treden er geen verschillen in lichtonderschepping in het gewas op tussen diffuus en standaard glas. Op een zonnige dag (metingen uitgevoerd op zonnige dagen in augustus/september) is er echter een verschil zichtbaar tussen de lichtonderschepping onder standaard en diffuus glas. Bij de referentie dringt er vrij snel (vanaf LAI 0.5) minder licht door in het gewas dan onder diffuus glas. Muraoka *et al.* (1998) toonden eerder m.b.v. modelsimulaties aan dat door een veranderde bladoriëntatie t.o.v. de stengel onder invloed van diffuus licht (meer loodrecht staan van bladeren t.o.v. de stengel), de lichtabsorptie wordt vergroot. Hierdoor wordt naast de betere lichtdoordringing de effectieve benutting ervan vergroot. Er zijn geen verschillen zichtbaar in de lichtonderschepping tussen Diff45 en Diff71. Pas vrij diep in het gewas (LAI 3-4) komen de lijnen van de lichtonderschepping van standaard en diffuus glas weer bij elkaar.

Dit biedt mogelijkheden om de lichtonderschepping nog meer te vergroten door de LAI te verhogen. Door de

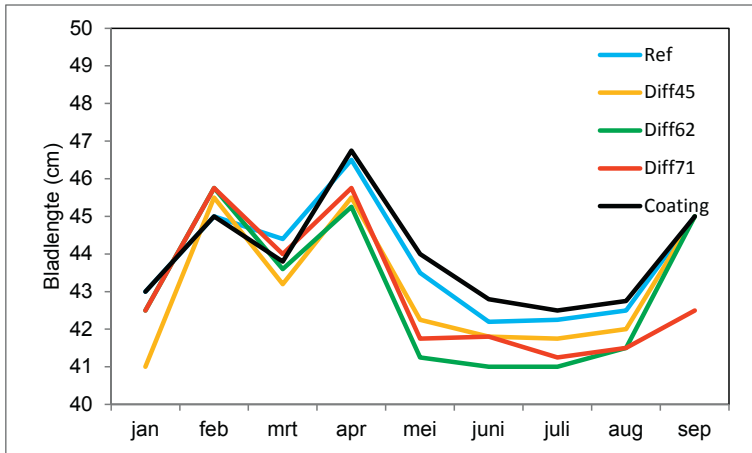
stengeldichtheid te verhogen van 3.3 naar 3.8 stengels per m^2 bij tomatat heeft Sauvillier *et al.* (2011) aangetoond dat er 5% meer geproduceerd werd. Hiermee wordt de lichtbenutting verhoogd en de mogelijkheden voor meerproductie verder vergroot worden.



Figuur 11. Lichtonderschepping in het gewas bij de referentie, Diff45 en Diff71 behandelingen op een bewolkte en zonnige dag.

5.4 Plantregistraties

De gemeten kopdikte en bladlengte bij de wekelijkse plantregistratie zijn weergegeven in Figuren 12 en 13. Gemiddeld over de gehele periode is de stengeldikte ongeveer 25 cm onder de kop bij de referentie, Diff45, Diff62, Diff71 en de ReduFuse coating respectievelijk 10.0, 10.3, 10.2, 10.2 en 10.0 mm. Ook in Figuur 12. is te zien dat de kop onder diffuus glas meestal wat dikker is dan bij de referentie en het kasdek met ReduFuse coating.

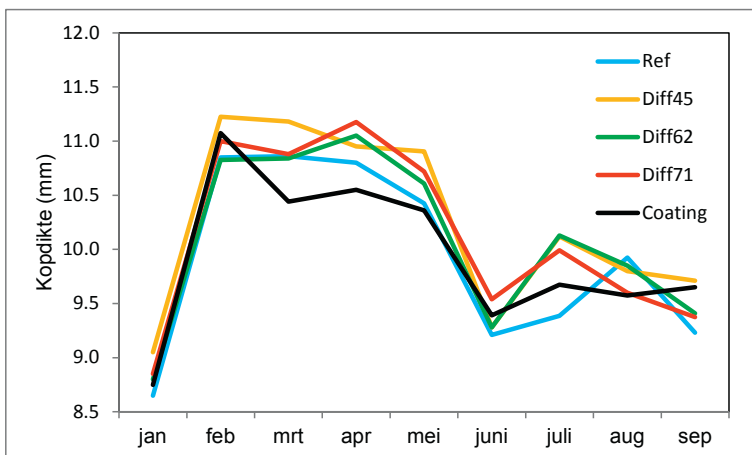


Figuur 12. Gemiddelde kopdikte per maand weergegeven bij de 5 behandelingen.

Vooraf vanaf april is het eerste blad onder de bloeiende tros in de diffuse afdelingen duidelijk korter dan in de referentie en in de gecoate afdeling (Figuur 13.). Gedurende de wintermaanden tot aan april was de gemiddelde bladlengte vrijwel gelijk tussen behandelingen, met een iets korter blad bij Diff45 (43.2 tegen 44 cm). Vanaf april echter, wanneer de hoeveelheid licht sterk toenam was de bladlengte onder diffuus glas minder dan in de referentie en ReduFuse coating (ca. 42.4 tegen ca. 43.6 cm). Het gewas in de afdelingen met diffuus glas toonde ook duidelijk generatiever en minder vol dan in de overige afdelingen (referentie en ReduFuse coating).



Trossen onder direct licht (links) en diffuus licht (rechts).



Figuur 13. Gemiddelde bladlengte per maand van de 5 behandelingen.

Tussen de behandelingen blijken er weinig verschillen te zijn in de lengtegroei van de planten (Tabel 6.), al lijken de planten onder diffuus licht iets sneller gegroeid te zijn.

Tabel 6. Totale stengellengte en gemiddelde lengtegroei per week (cm) en drogestof gehalte (%) van de stengels aan het einde van de teelt (week 45) bij de verschillende kasdekbehandelingen.

| | Kasdek | | | | |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | Ref | Diff45 | Diff62 | Diff71 | Coating |
| Lengtegroei cumulatief | 955 | 964 | 980 | 959 | 954 |
| Lengtegroei (per week) | 25.1 | 25.6 | 25.8 | 25.4 | 25.3 |
| Stengel ds% | 11.3 | 11.9 | * | 12.1 | * |

* niet gemeten

In de diffuse afdelingen (alleen gemeten bij Diff45 en Diff71) zijn de stengels ruim 10% zwaarder dan in de referentie. Door een hoger drogestofgehalte in deze afdelingen is het drooggewicht zelfs 17 tot 19% hoger dan bij de referentie. Dit kan gevolgen hebben gehad voor het optreden van Botrytis en uitval van stengels bij de verschillende behandelingen (zie laatste gedeelte papragraaf).

De gehele periode blijft de referentie duidelijk achter in % droge stof van het geplukte blad (Tabel 7.). Ditzelfde geldt voor de gecoate afdeling voordat de coating erop gegaan is. Tot en met mei is het % drogestof van het blad ongeveer gelijk aan de referentie. De afdelingen met de hoogste haze (65 en 71%) hebben meestal het hoogste % droge stof. Gemiddeld over de hele periode is het percentage drogestof van het geplukte blad bij de referentie, Diff45, Diff62, Diff71 en de ReduFuse coating respectievelijk 8.46, 8.67, 8.82, 8.76 en 8.58%. Een hogere diffusiteit geeft dus een hoger drogestofgehalte in het onderste blad, waarbij de hogere lichttransmissie in de afdeling met 62% haze mogelijk ook een positieve rol heeft gespeeld.

Tabel 7. Drogestof gehalten (%) in geplukt blad (batches) en uit bladmonsters uit destructieve oogsten, bepaald op 4 dagen tijdens de teelt. Gemiddeldes \pm SD, n=4.

| | Kasdek | | | | |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| | Ref | Diff45 | Diff62 | Diff71 | Coating |
| Ds% geplukt blad | | | | | |
| 11 april | 7.8 | 8.0 | 8.2 | 8.4 | 8.3 |
| 8 juni | 8.5 | 8.9 | 9.3 | 8.9 | 8.7 |
| 8 juli | 8.7 | 9.3 | 9.6 | 9.2 | 8.9 |
| 8 sept | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.4 | 9.2 |
| Ds% blad | | | | | |
| 7 april | 8.6 \pm 0.3 | 8.8 \pm 0.2 | 8.3 \pm 0.1 | 8.7 \pm 0.1 | 8.4 \pm 0.2 |
| 8 juni | 10.0 \pm 0.5 | 10.2 \pm 0.4 | 10.4 \pm 0.1 | 10.7 \pm 0.3 | 9.6 \pm 0.4 |
| 4 juli | 10.1 \pm 0.5 | 10.2 \pm 0.6 | 10.5 \pm 0.5 | 10.4 \pm 0.6 | 9.8 \pm 0.4 |
| 1 sept | 9.8 \pm 0.9 | 9.9 \pm 0.7 | 9.7 \pm 0.1 | 9.8 \pm 0.3 | 9.5 \pm 0.6 |

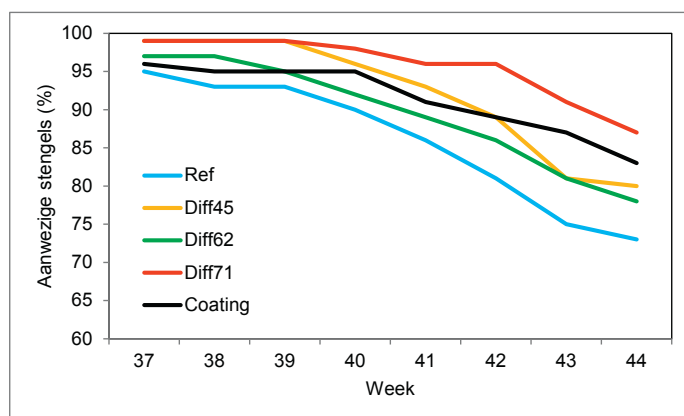
Het drogestofgehalte in het geplukte blad werd wekelijks bepaald en daarvan zijn de waardes gegeven die bijna gelijktijd met de destructieve oogsten genomen zijn. Uit de destructieve metingen op de 4 data zijn de verschillen tussen de behandelingen wat minder duidelijk dan bij het wekelijks bepalen van het drogestofgehalte van het geplukte blad. Bij de coating is het drogestofgehalte wel steeds lager dan bij de diffuus behandelingen. Mogelijk dat de verschillen in percentage drogestof tussen de behandelingen vooral in de onderste bladeren ontstaan, omdat bij diffuus glas er meer licht onderin het gewas doordringt. De cijfers van de destructieve oogsten zijn een gemiddelde van alle bladeren aan de plant, waardoor de verschillen waarschijnlijk minder duidelijk zijn.

Tabel 8. LAI ($m^2 m^{-2}$) en SLA ($cm^2 g^{-1}$) van volgroeide bladeren onder diffuus glas en ReduFuse coating in relatie tot de referentie, gemeten op 4 dagen tijdens de teelt (gemiddelde \pm SD, $n=4$).

| | | Kasdek | | | | |
|-----|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Ref | Diff45 | Diff62 | Diff71 | Coating |
| LAI | | | | | | |
| | 7 april | 5.7 \pm 0.4 | 5.4 \pm 0.2 | 5.6 \pm 0.5 | 5.9 \pm 1.0 | 5.5 \pm 0.6 |
| | 8 juni | 4.9 \pm 0.1 | 4.8 \pm 0.5 | 4.4 \pm 0.1 | 4.5 \pm 0.4 | 5.2 \pm 0.5 |
| | 4 juli | 3.8 \pm 0.4 | 4.2 \pm 0.4 | 3.8 \pm 0.7 | 3.9 \pm 0.2 | 4.6 \pm 0.4 |
| | 1 sept | 3.2 \pm 0.2 | 3.6 \pm 0.2 | 3.4 \pm 0.2 | 3.5 \pm 0.2 | 3.3 \pm 0.1 |
| SLA | | | | | | |
| | 7 april | 279 \pm 13 | 255 \pm 10 | 274 \pm 17 | 247 \pm 18 | 276 \pm 13 |
| | 8 juni | 181 \pm 14 | 170 \pm 13 | 164 \pm 10 | 162 \pm 5 | 177 \pm 9 |
| | 4 juli | 180 \pm 14 | 172 \pm 18 | 160 \pm 10 | 163 \pm 13 | 172 \pm 13 |
| | 1 sept | 222 \pm 13 | 208 \pm 10 | 205 \pm 9 | 205 \pm 9 | 223 \pm 9 |

Dat een hogere diffusiteit van het licht een hoger drogestofgehalte in het blad veroorzaakt komt ten dele uit in het specifieke bladoppervlak gemeten op 4 dagen tijdens de teelt (Tabel 8.). Hierin is een iets lagere SLA onder diffuus glas te zien, wat aangeeft dat er meer gewicht (hoger drogestofgehalte) per cm^2 aangemaakt is. Hiermee worden de mogelijkheden voor een grotere fotosynthetische capaciteit vergroot, maar dit lijkt geen groot effect te zijn geweest. Wanneer er vervolgens ook meer licht deze bladeren bereikt door een hogere lichtdoordringing in het gewas (Figuur 10.), is er meer fotosynthese en groei mogelijk. Er lijken geen structurele verschillen te zijn in de LAI tussen de referentie en diffuus kasdek afdelingen, zodat het effect op het bladoppervlak per eenheid grondoppervlak (LAI) minder duidelijk is. Gemiddeld over 3 data is het drogestofgehalte van oogstbare vruchten bij de referentie, Diff45, Diff62, Diff71 en coating respectievelijk 4.90, 4.98, 5.03, 4.91 en 4.87%. Diffuus glas verlaagt het drogestofgehalte van vruchten in ieder geval niet.

Gedurende de teelt is er een enkele stengel verloren gegaan, onder andere door aantasting van Botrytis. De laatste 2 maanden is er meer aantasting geconstateerd en is het aantal stengels dat verloren is gegaan, gescoord. De resultaten hiervan in Figuur 14. laten zien dat er vanuit de meeste aantasting was in de referentieteelt. Op het eind was bijna 30% van de stengels uitgevallen door voornamelijk Botrytis en ook verwijderd. De minste aantasting vond plaats in Diff71, waar uiteindelijk ongeveer 10% van de stengels verloren zijn gegaan. De overige behandelingen zaten daar tussenin (15-20%). Ook onder de ReduFuse coating was er minder stengelverlies, waaruit naar voren lijkt te komen dat diffuus licht planten minder gevoelig maakt voor Botrytis-aantasting. Mogelijk ondervinden planten minder stress onder diffuus licht of wordt de weerbaarheid van de plant onder diffuus licht verhoogd. Ook heeft het feit dat het drogestofgehalte van stengels onder diffuus licht het hoogst was (Tabel 6.) hierbij hoogstwaarschijnlijk ook een rol gespeeld hierbij. De invloed van diffuus licht op de plant (fysiologische en morfologische effecten), waardoor de vatbaarheid voor ziektes wordt beïnvloed, verdient meer aandacht.

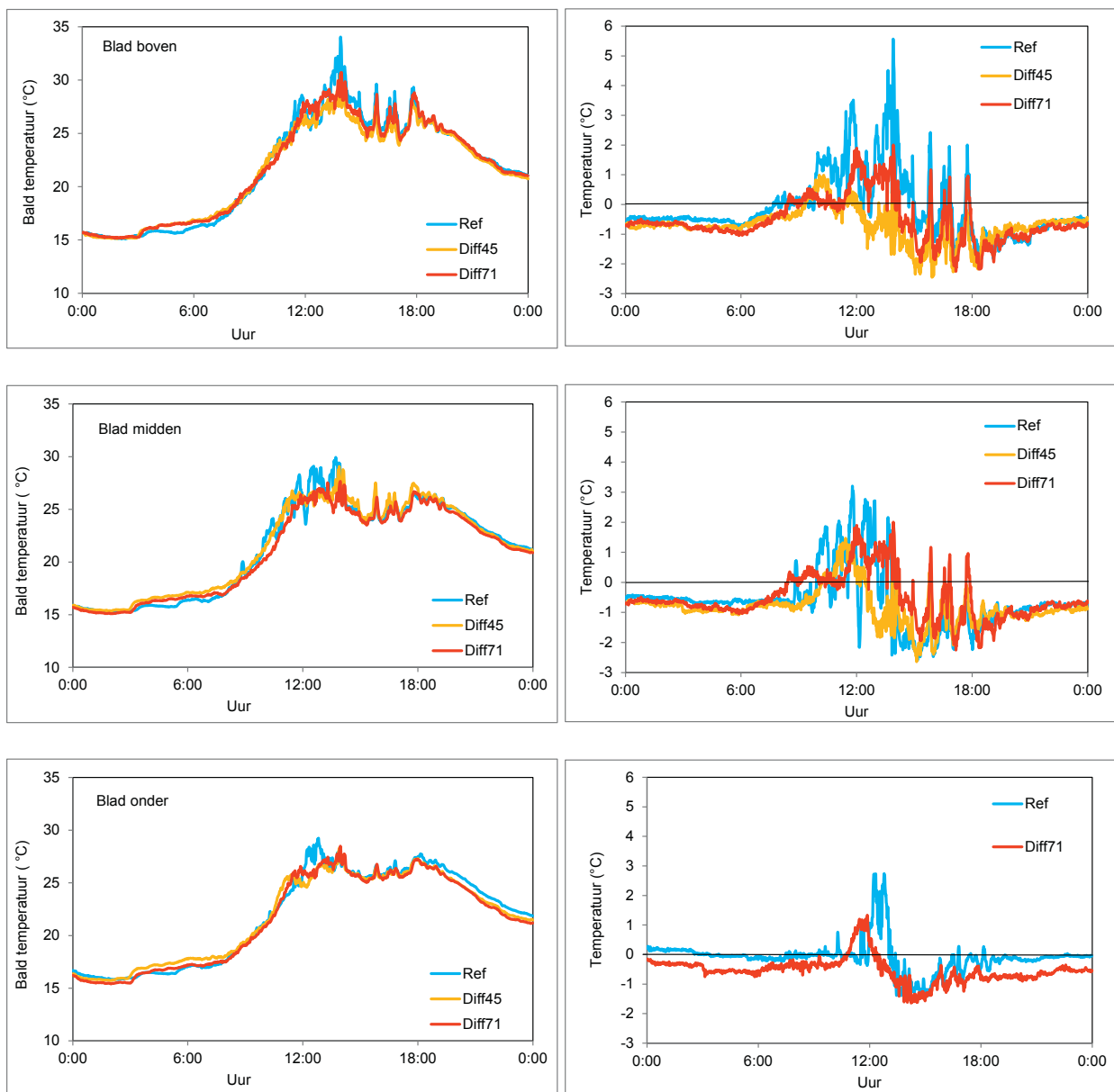


Figuur 14. Het percentage nog aanwezige stengels tijdens de laatste 8 weken van de teelt.

5.5 Fysiologie

5.5.1 Planttemperatuur in relatie tot luchttemperatuur

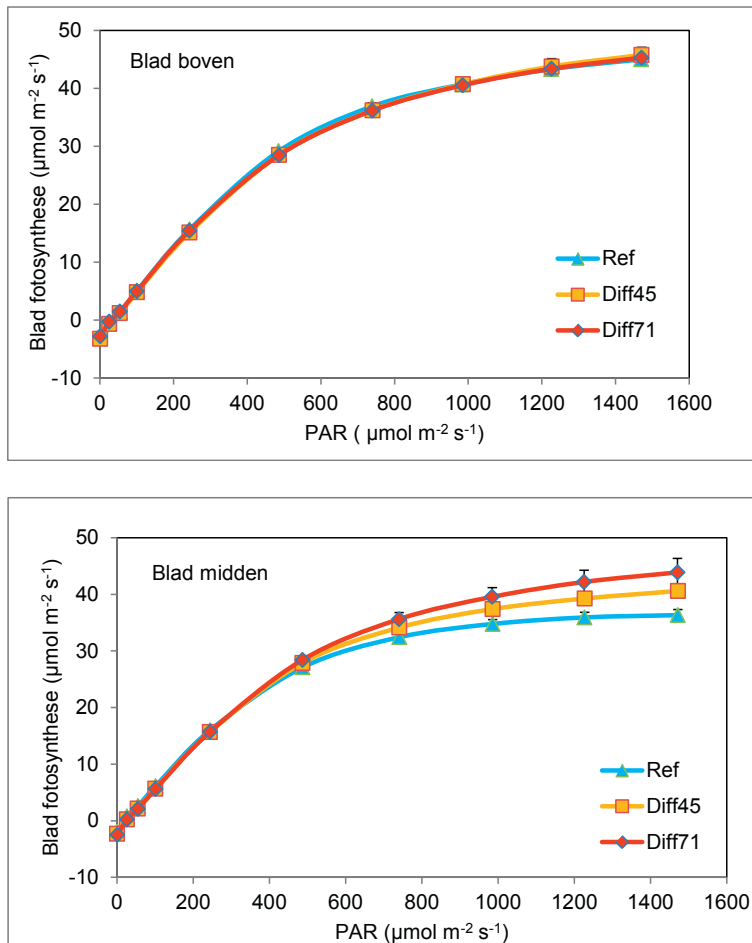
Bij gelijke hoeveelheden lichttransmissie is de etmaal bladtemperatuur gevolgd bij 3 hazefactoren namelijk bij 0, 45 en 71% haze en op 3 niveau's in het gewas. Bovenin is de bladtemperatuur bij de referentie hoger dan onder een hogere haze (Diff45 en Diff71). Hoe verder naar onderen in het gewas, hoe gelijkjer de bladtemperatuur bij de 3 behandelingen en hoe gelijkjer het temperatuurverloop gedurende de dag (Figuur 15.). Onderaan in Figuur 15. is het verschil tussen de blad- en kasluchttemperatuur (zie ook Figuur 2.) te zien. Bij een kasluchttemperatuur van 25°C oplopend naar 35°C is er een groot effect op de bladtemperatuur te zien. Het verschil tussen blad- en luchttemperatuur (ca. 4°C) loopt op tot bijna 6°C waardoor de waarschijnlijke overmaat aan lichtenergie maar moeilijk weggewerkt kan worden (warmte dissipatie), met fotoinhibitie en mogelijk schade als gevolg (zie ook Figuur 17.). Onder diffuus licht is de bladtemperatuur maar 1°C hoger tot zelfs 2°C lager dan de kasluchttemperatuur, wat het functioneren van fotosysteem II ten goede komt.



Figuur 15. Bladtemperatuur in het verloop van één dag (linker grafieken) en verschil in bladtemperatuur t.o.v. de kasluchttemperatuur in de referentie, Diff45 en Diff71 behandelingen (rechter grafieken). De metingen zijn uitgevoerd op bladeren bovenin, middenin en onderin het gewas op 2 augustus, 2011, een zonnige dag.

5.5.2 Fotosynthese

Op een aantal dagen tijdens de teelt zijn er fotosynthesemetingen uitgevoerd. Door bladeren op verschillende hoogtes in het gewas te meten bij een reeks van lichtintensiteiten is de fotosynthesecapaciteit bepaald. In Fig 16 (boven) zijn de resultaten hiervan voor bladeren bovenin het gewas weergegeven. Er waren geen verschillen te zien tussen de planten in de referentieteelt en onder diffuus licht bij een gelijke lichttransmissie (Diff45 en Diff71). Metingen aan bladeren lager in het gewas geven een ander beeld omdat lichtverdeling en het benutten van licht afhankelijk is van lichtintensiteit en lichtdoordringing in het gewas (zie paragraaf 3.3.2 en 3.3.3).

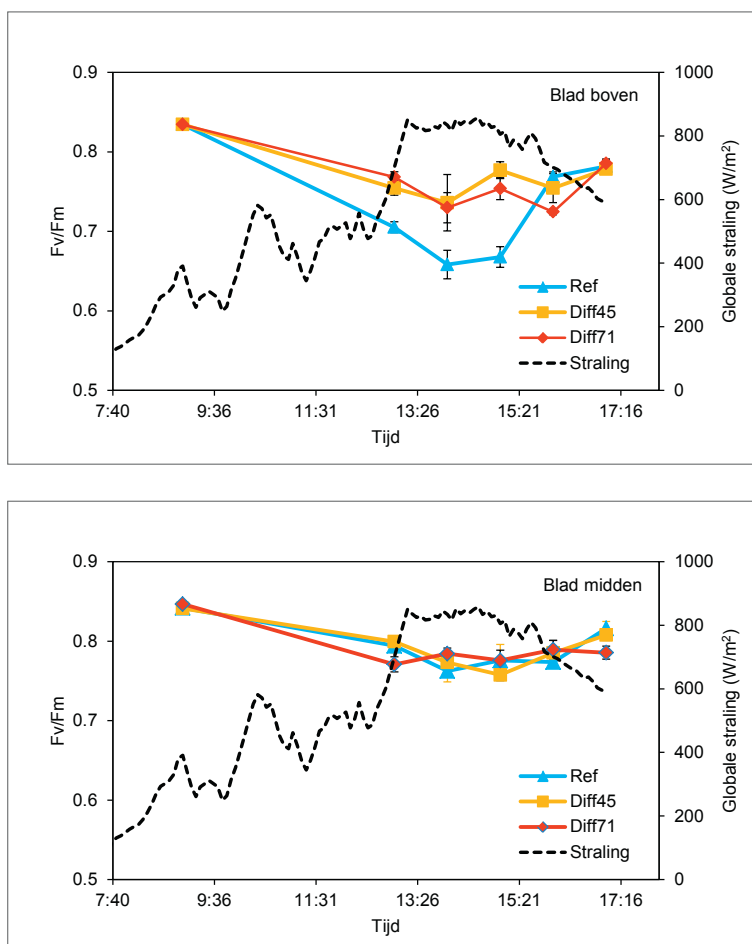


Figuur 16. Potentiele fotosynthese ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, gemiddelde \pm SE) bovenin en middenin het gewas. $n=3$

Onder diffuus glas is er een hogere fotosynthesecapaciteit aanwezig dan onder standaardglas (Fig 16, onder). Dat houdt in dat wanneer er meer bladeren lager in het gewas door licht worden bereikt, er meer fotosynthese plaats kan vinden. Uit eerdere metingen aan lichtonderschepping (Figuur 11.) is ook duidelijk te zien dat inderdaad meer licht doordringt tot de lagere bladlagen en dit moet meer fotosynthese, groei en productie van het gewas tot het gevolg hebben. Dat diffuus licht tot meer fotosynthese en groei leidt is eerder aangetoond bij komkommer door Dueck *et al.* (2009), bevestigd door Markvart *et al.* (2010) die bij chrysanten 9% meer scheutdrooggewicht, meer zijscheuten en een hoger bladoppervlak vond.

5.5.3 Fotoinhibitie

Tijdens de zomer op een warme, zonnige dag (15 augustus 2011), zijn er met behulp van chlorofylfluorescentie metingen uitgevoerd aan het functioneren van het fotosynthesesysteem (de fotosynthese efficiëntie). De parameter daarvoor is de Fv/Fm verhouding. Bij een gezond, goed functionerend blad is de fotosynthese efficiëntie ca. 0.8. In Figuur 17. wordt dit gedurende de dag weergegeven voor bladeren bovenin en middenin het gewas. 's Morgens verloopt de fotosynthese efficiëntie op beide hoogtes in het gewas goed met een Fv/Fm verhouding van 0.80 tot 0.84. Middenin het gewas, waar het licht bijna altijd indirect (diffuus) de bladeren bereikt, blijft de fotosynthese efficiëntie hoog, boven de 0.75. Maar bij bladeren bovenin het gewas is er bij de referentieteelt rond de middaguren, zo tussen 12 en 15 uur, een dip in de fotosynthese efficiëntie te zien tot onder de 0.65. Op het moment dat de globale straling sterk gaat stijgen bij ca. 500 W m⁻², zakt de Fv/Fm verhouding tot 0.7, en wanneer de stralingsniveau de 800 W m⁻² overstijgt, daalt de Fv/Fm verhouding tot ongeveer 0.65. Er treedt dan onder (veel) direct licht fotoinhibitie op, doordat het blad die hoeveelheid aan lichtenergie niet kan verwerken (warmtedissipatie) en schade ondervindt aan het fotosynthesesysteem. Het lijkt erop dat bij intensiteiten van direct licht boven 500 W m⁻² het blad schade gaat ondervinden aan het fotosysteem II en er fotoinhibitie optreedt. Onder diffuus licht treedt fotoinhibitie niet of nauwelijks op, mede doordat de invalshoek in augustus lager is geworden waardoor de hoeveelheid direct licht dat de kas binnengaat na 15 uur sterk is verminderd. Mogelijk speelt ook een andere bladoriëntatie (Muraoka *et al.* 1998) hierin een rol, waarbij de fotosynthese verhoogd wordt en minder direct licht wordt geabsorbeerd door het gewas. Dat onder diffuus licht fotoinhibitie nauwelijks plaatsvindt werd ook waargenomen door Johnson & Smith (2006). Zij vonden in zaailingen van *Abies fraseri* na blootstelling aan fel zonlicht tot 10% reductie in de efficiëntie van fotosysteem II (Fv/Fm) in vergelijking met diffuus licht onder bewolkte omstandigheden.



Figuur 17. Verloop van de fotoinhibitie van bladeren bovenin en middenin het gewas gedurende de dag.

5.5.4 Verdamping van het gewas

Tabel 9. Wateropname ($l\ m^{-2}\ dag^{-1}$) tijdens 2 periodes gedurende de teelt onder de verschillende kasdektypes met de lichttransmissie t.o.v. de referentie tussen haakjes.

| | Kasdek | | | | |
|-------------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | Ref (100%) | Diff45 (100%) | Diff62 (103%) | Diff71 (100%) | Coating (94%)* |
| Periode 1 mei – 1 juli | | | | | |
| Water opname | 3.96 | 3.99 | 4.08 | 3.88 | 3.62 |
| Opname t.o.v. Ref | 100 | 101 | 103 | 98 | 91 |
| Periode 1 maart – 9 okt | | | | | |
| Water opname | 3.10 | 3.13 | 3.25 | 3.07 | 3.01 |
| Opname t.o.v. Ref | 100 | 101 | 105 | 99 | 97 |

*geldt voor de maanden mei t/m augustus

Water dat opgenomen wordt door het gewas wordt voor circa 90% weer verdampt. In dit experiment werd de wateropname dagelijks bijgehouden om een indicatie te krijgen van de gewasverdamping in relatie tot de invloed van diffuus licht. In de periode maart tot oktober werd het meeste water opgenomen (en verdampt) tijdens de teelt onder Diff62 en het minst bij de ReduFuse coating (Tabel 9.). Dit is een gevolg van meer, respectievelijk minder licht op het gewas zoals eerder gemeten is (Figuur 8. en Tabel 4.) onder beide kasdekken. In de periode mei en juni valt het verschil in verdamping nog meer op, 9% minder ten opzichte van de referentie. In deze periode was het verschil in lichttransmissie tussen de behandelingen dan ook het grootst. Gedurende drie weken in mei lag er op het kasdek namelijk een coating met een haze van 70% met een lichtverlies van ca. 15% ten opzichte van de referentie.

5.5.5 SPAD meting

Op 3 dagen tijdens de teelt zijn SPAD metingen uitgevoerd. Deze metingen geven een indicatie van de kleur van het blad, wat vertaald kan worden in hoeveelheid bladgroen of stikstof in het blad. De metingen zijn gedaan op het 5^e blad van boven en op het één na onderste blad (Tabel 10).

Verschillen in SPAD in de tijd geven aan dat de bladeren een meer donkergroene kleur kregen naarmate er meer licht aanwezig was, maar de verschillen tussen de behandelingen zijn van geen betekenis. Licht dat al dan niet diffuus is, heeft kennelijk weinig invloed op de kleur van het blad.

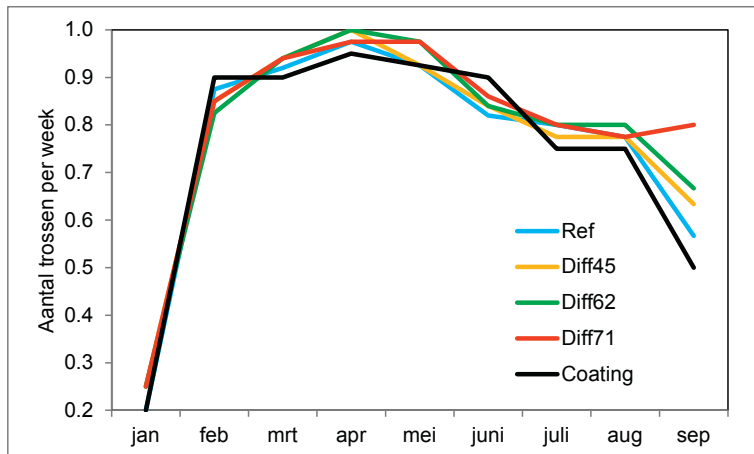
Tabel 10. SPAD metingen aan bladeren bovenin en onderin het gewas op 3 dagen tijdens de teelt.

| | Kasdek | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Ref | Diff45 | Diff62 | Diff71 | Coating |
| SPAD boven | | | | | |
| 1 april | 43.4 ± 1.0 | 44.8 ± 1.7 | 45.9 ± 0.4 | 45.4 ± 1.5 | 44.8 ± 1.7 |
| 5 mei | 48.7 ± 2.0 | 48.2 ± 2.4 | 49.7 ± 1.5 | 48.7 ± 1.4 | 47.8 ± 2.8 |
| 8 juni | 52.5 ± 2.2 | 52.3 ± 2.9 | 52.5 ± 1.7 | 52.2 ± 2.7 | 49.3 ± 1.1 |
| SPAD onder | | | | | |
| 1 april | 32.5 ± 0.5 | 33.0 ± 1.6 | 32.3 ± 0.8 | 32.8 ± 0.8 | 32.0 ± 0.3 |
| 5 mei | 40.4 ± 2.2 | 42.1 ± 2.0 | 43.9 ± 4.6 | 44.6 ± 3.4 | 39.7 ± 3.3 |
| 8 juni | 52.4 ± 3.1 | 50.7 ± 1.3 | 55.7 ± 2.1 | 52.8 ± 3.1 | 48.7 ± 3.0 |

5.6 Productie

5.6.1 Bloeisnelheid en uitgroeiduur

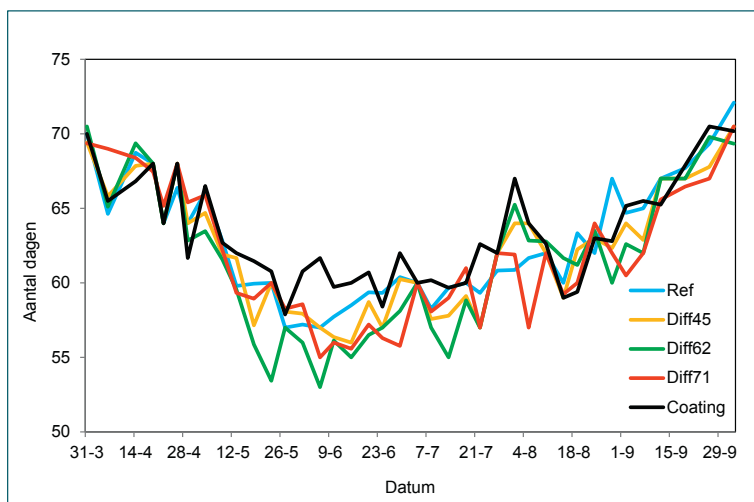
Aan het einde van de teelt waren er bij de referentie, Diff45, Diff62, Diff71 en de ReduFuse coating respectievelijk 29.4, 29.5, 29.9, 29.8 en 29.3 trossen ontwikkeld. Vooral bij diffuus glas met een hogere haze verliep de trosontwikkeling iets sneller. Dit zal vooral het gevolg zijn van de wat hoger aangehouden temperaturen in de lichtrijkere maanden.



Figuur 18. Ontwikkeling van aantal trossen per m^2 per week bij de 5 behandelingen.

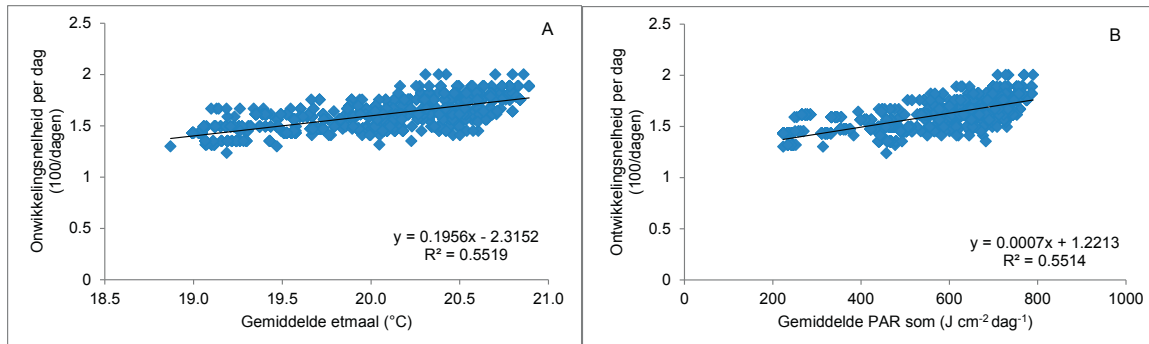
In Figuur 18. is de bloeisnelheid weergegeven als aantal trossen per week. De bloeisnelheid van de verschillende behandelingen ligt dicht bij elkaar. De gemiddelde bloeisnelheid per week bij de referentie, Diff45, Diff62, Diff71 en de ReduFuse coating is respectievelijk 0.81, 0.82, 0.83, 0.84 en 0.81 tros/ m^2 /week. Onder diffuus glas neemt de gemiddelde bloeisnelheid licht toe naarmate het aandeel haze hoger wordt. Bij de ReduFuse coating is de lichttransmissie lager, wat waarschijnlijk direct of indirect de bloeisnelheid wat remt. Opvallend is dat bij Diff71 de bloeisnelheid in september op hetzelfde niveau blijft, terwijl deze bij de andere behandelingen duidelijk afneemt.

Vanaf begin januari werden trossen gelabeld op de dag van bloei van de 2^e bloem en het aantal dagen genoteerd tot het oogsten van de tros. Eind maart werden de eerste gelabelde trossen geoogst en de resultaten van de uitgroeiduur zijn weergegeven in Figuur 19.



Figuur 19. De uitgroeiduur van vruchten (aantal dagen van bloei tot oogst) met bloei half januari tot half september. In de figuur zijn de oogstdata weergegeven.

Tot medio mei zijn er weinig verschillen in uitgroei duur tussen de behandelingen en met het toenemen van de lichtintensiteit in het voorjaar werd de uitgroei duur ingekort van ca. 70 tot 62 dagen. De verkorting van de uitgroei duur bij tomaat naarmate het licht en de temperatuur toenam, was vergelijkbaar met die bij komkommer onder diffuus glas (Dueck *et al.* 2009). Na medio mei begonnen er verschillen tussen de behandelingen zichtbaar te worden. De traagste vruchten kwamen in ca. 60 dagen van het gewas af onder de ReduFuse coating gevolgd door de referentie, en onder de overige kasdekken in ca. 55-60 dagen. Het snelst groeiden de vruchten uit onder diffuus licht (Diff62). Gemiddeld in de periode 13 mei tot 13 juli, een periode met zomers weer en zichtbare verschillen in uitgroei duur, duurde het resp. 59 dagen (Ref), 58 dagen (Diff45), 56 dagen (Diff62), 58 dagen (Diff71) en 60 dagen (ReduFuse coating) tussen bloei en oogst. Hier heeft de hoeveelheid licht in het gewas, de 3% hogere lichttransmissie onder Diff62 en de iets hogere temperatuur als gevolg van minder ventileren in vergelijking met de referentie en de ReduFuse coating hoogstwaarschijnlijk het verschil veroorzaakt.



Figuur 20. Ontwikkelingssnelheid per tros (100/dagen) in relatie tot (A) de gemiddelde etmaaltemperatuur ($^{\circ}\text{C}$), en (B) de gemiddelde PAR som per dag, beide gedurende de dagen tussen bloei en oogst. $N=1709$

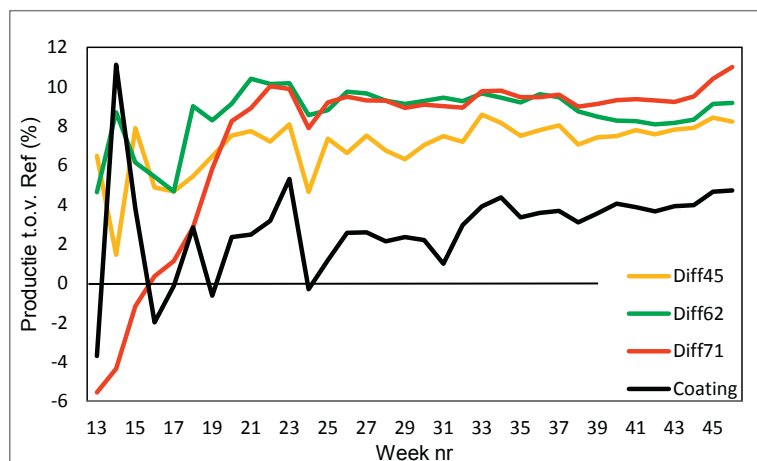
Dat er behandelingsverschillen tot stand zijn gekomen is helder geworden in Figuur 19, maar of dat uitsluitend het gevolg is van verschillen in hoeveelheid en verstrooiing van licht, of van temperatuur is nog de vraag. Er is voor enkele rassen een rechtlijnige relatie gevonden tussen de uitgroei duur (omgerekend naar een ontwikkelingsnelheid per dag) en de gemiddelde etmaaltemperatuur, waaruit de basistemperatuur en temperatuursom berekend kon worden. Zowel Heuvelink (2005) als Dieleman *et al.* (2011) hebben dat gedaan voor respectievelijk de rassen Counter en Cappricia, en De Gelder *et al.* (2012) voor het ras Komeett. Uit de analyse van De Gelder *et al.* (2012) blijkt dat bij de hogere basistemperatuur en lagere temperatuursom, Komeett met zijn uitgroei duur sterker reageert op de etmaaltemperatuur dan rassen zoals Counter en Capricia. In zijn analyse heeft De Gelder een basistemperatuur berekend van 12°C en 478 graaddagen voor Komeett. Voor Komeett onder diffuus glas is daartoe het aantal dagen vanaf trosbloei (bloei van 2^e bloemetje) tot oogst gerelateerd aan de gemiddelde etmaaltemperatuur, maar ook aan de PAR som gedurende die ontwikkelingsdagen.

Figuur 20A geeft hier ook een goede relatie aan tussen de ontwikkelingsnelheid en de gemiddelde etmaaltemperatuur ($r^2=0.55$). Gemiddeld over alle behandelingen is een basistemperatuur berekend van 11.84°C , wat zeer goed overeenkomt met die van De Gelder *et al.* (2012). Wanneer berekend voor de afzonderlijke behandeling, lopen de basistemperaturen op van 11.5°C (referentie) tot 12.8°C onder diffuus glas. Dit houdt in dat met toenemende haze de uitgroei duur verkort wordt, waarschijnlijk vooral door de hogere etmaaltemperatuur die gehandhaafd kon worden onder diffuus glas.

Wanneer vervolgens de ontwikkelingsnelheid tegen de PAR som wordt uitgezet (Bijlage III) komt er een matige relatie tot stand ($r^2=0.27$) met een grote spreiding in het aantal ontwikkelingsdagen in relatie tot de PAR som. Waarschijnlijk komt dit doordat er relatief grote verschillen in de buitentemperatuur bestaan bij gelijke lichtomstandigheden (voorjaar vs. najaar). Daarom is de gemiddelde PAR som per dag uitgezet tegen de ontwikkelingssnelheid (Fig 20B), waardoor een vergelijkbare relatie met die van de etmaaltemperatuur tot stand komt. Vermoedelijk speelt hierin de etmaaltemperatuur een bepalende rol. Vanaf week 15 is het handhaven van dezelfde setpoints voor het kasklimaat losgelaten en is het kasklimaat afgestemd op het gewas, waardoor er verschillen in temperatuurssetpoints tot stand kwamen. Hierdoor waren over de hele teelt genomen de gemiddelde etmaaltemperaturen in de diffuus licht behandelingen 0.1°C tot 0.2°C hoger dan de referentie.

5.6.2 Vruchtproductie

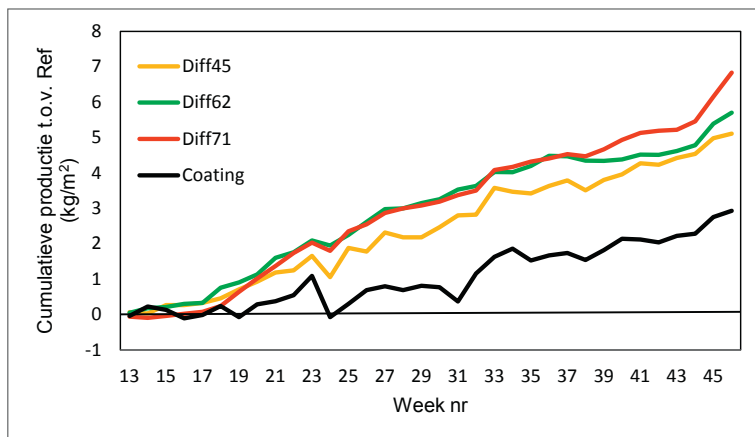
In Figuur 21. is de wekelijkse kiloproductie in relatie tot die van de referentie uitgezet. De eerste oogst viel in week 13 en aanvankelijk waren er wat schommelingen in de productiecijfers. Dit komt doordat bij het oogsten van de eerste trossen, kleine verschillen in de hoeveelheid oogstbare vruchten per dag kunnen leiden tot relatief grote verschillen t.o.v. de overige behandelingen. Dit komt het meest tot uiting bij de ReduFuse coating en in mindere mate bij de Diff45 teelten. Schommelingen bij de ReduFuse coating later in de teelt (mei, juni) zijn ten dele veroorzaakt door het opbrengen en weer afhalen van de coating in mei. Diff71 heeft blijkbaar een wat trage start in productie gehad. Hiervoor is niet direct een verklaring te vinden; de lichttransmissie bij Diff71 is immers gelijk aan die van de referentie en Diff45. Vanaf juni liep de meerproductie echter gelijk op met die van Diff62. Gedurende de laatste 6 weken van de teelt is er relatief gezien meer productie gerealiseerd onder de hogere haze factor (Diff71), ook ten opzichte van Diff61. De mate van stengeluitval door Botrytis was in deze periode ook het laagst bij Diff71 (Fig 14) wat hoogstwaarschijnlijk de meerproductie bij Diff71 grotendeels verklaart. Diff45 met een lagere haze factor, maar gelijke lichttransmissie als dat van Diff71, produceerde gedurende de hele teelt 2-3% minder kilo's. Dat er een meerproductie onder invloed van diffuus licht verwacht mag worden, wordt ook bevestigd door Markvart *et al.* (2010) en in eerdere proeven met komkommers bij Wageningen UR Glastuinbouw (cf. Dueck *et al.* 2009).



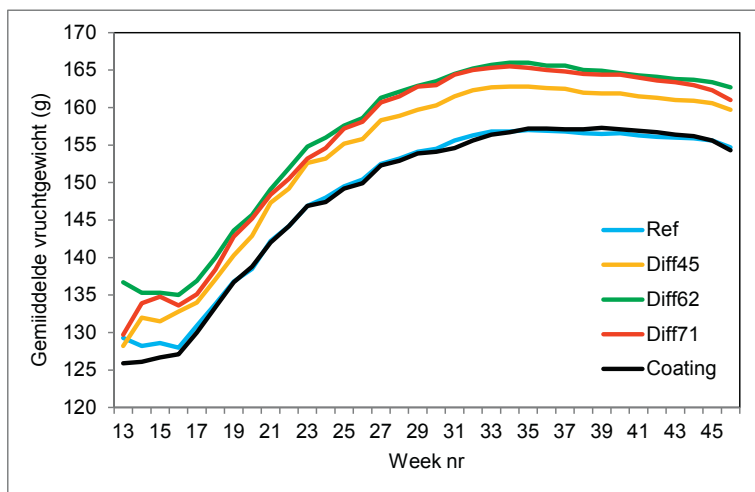
Figuur 21. Wekelijkse productie (%) t.o.v. de referentie.

Gedurende een lange periode vanaf week 25 (half juni) is de procentuele meerproductie in de diffuse afdelingen vrij constant geweest (Figuur 22.). Dit betekent dat er ook in 2011, de natste zomer van de laatste 100 jaar nog elke week een meerproductie onder diffuus glas is gerealiseerd, en is bevestigd door Dr. Kris Goen, Hoogstraten (mondelijke mededeling).

Hoewel de coating begin september is verwijderd, blijkt de productie bij deze behandeling vanaf half augustus (week 32) ten opzichte van de referentie nog toe te nemen. Waarschijnlijk is de coating op het juiste moment verwijderd, wat positief heeft uitgewerkt op het gewas en de productie. Het gewas stond er de laatste maanden van de teelt ook sterk op met relatief weinig stengeluitval (zie Figuur 14.).



Figuur 22. Cumulatieve productie (kg m⁻²) t.o.v. de referentie.



Figuur 23. Gemiddeld vruchtgewicht (g) tijdens de teelt.

Al vanaf de eerste oogst zijn de tomaten uit de kassen met een diffuus kasdek zwaarder dan bij de referentie en de coating (gemiddeld 5-8 g), die onderling niet verschillen in vruchtgewicht (Figuur 23.). Het cumulatief gemiddeld vruchtgewicht over de gehele periode was bij de referentie en de ReduFuse coating ca. 154 g (Tabel 11).



Maandelijks bezoek van de BCO.

Tabel 11. Gemiddeld vruchtgewicht (g) en vruchtdiameter (mm), gemeten op 4 dagen tijdens de teelt. Gemiddelde \pm SD zijn gegeven voor 20 vruchten bij metingen aan individuele vruchten op 16 april, 30 mei, 8 juli en 27 okt. Daarnaast is het cumulatief aantal vruchten en cumulatief vruchtgewicht (kg) per m² gegeven.

| | Kasdek | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Ref | Diff45 | Diff62 | Diff71 | Coating |
| Gem. vruchtgewicht (g) | 154 \pm 14 | 159.2 \pm 15 | 162 \pm 16 | 160.2 \pm 16 | 153 \pm 14 |
| Gem. vrucht diameter (mm) | 65.2 \pm 3.5 | 66.6 \pm 3.0 | 65.3 \pm 3.8 | 67.2 \pm 3.5 | 64.1 \pm 2.5 |
| Cum. productie (aantal m ²) | 394 | 410 | 408 | 418 | 416 |
| Cum. productie (kg m ²) | 62.1 | 67.2 | 67.8 | 68.9 | 65.0 |

Hoewel het aantal geoogste vruchten per m² bij de referentie wat lager was, waren de verschillen in aantal vruchten tussen de overige behandelingen klein. Dit bevestigt dat het hogere gewicht van de individuele vruchten de belangrijkste reden was voor de meerproductie onder diffuus glas.

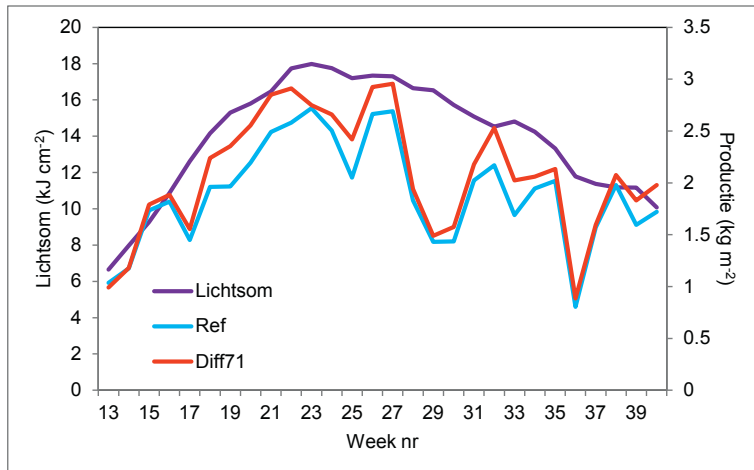
In Tabel 12. is de productie per perioden van 4 weken gegeven. Op het einde van de teelt was de meerproductie bij de Diff45, Diff62 en Diff71 behandelingen respectievelijk 8%, 9% en 11%. Uiteindelijk is ook een meerproductie van 5% gerealiseerd onder de ReduFuse coating, wat in houdt dat voor tuinders die voorlopig niet aan nieuwbouw of vervanging van het glas toe zijn, dit een mogelijkheid is om op een relatief gemakkelijke wijze een meerproductie te realiseren. Het verschil met de referentie wordt niet veroorzaakt door een verschil in vruchtgewicht, maar doordat er meer vruchten bij de ReduFuse coating zijn geoogst. Dit is deels het gevolg van minder stengelwegval. Bij het bepalen van de verdunningsfactor van de coating moet er wel goed aandacht geschonken worden aan de mate van lichttransmissie en haze.

Tabel 12. Productie (kg m²) per periode van 4 weken onder de verschillende kasdektypen.

| | Perioden van 4 weken | | | | | | | | | Totaal | Totaal (%) |
|---------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|
| | 13-16 | 17-20 | 21-24 | 25-28 | 29-32 | 33-36 | 37-40 | 41-44 | 45-46 | | |
| Ref | 5.54 | 6.83 | 10.42 | 9.48 | 6.91 | 7.42 | 6.33 | 4.53 | 4.67 | 62.11 | 100 |
| Diff45 | 5.81 | 7.47 | 10.58 | 10.64 | 7.57 | 8.17 | 6.65 | 5.11 | 5.24 | 67.22 | 108 |
| Diff62 | 5.84 | 7.68 | 11.20 | 10.58 | 7.49 | 8.28 | 6.22 | 4.93 | 5.59 | 67.81 | 109 |
| Diff71 | 5.56 | 7.82 | 11.20 | 10.75 | 7.34 | 8.32 | 6.85 | 5.05 | 6.05 | 68.94 | 111 |
| Coating | 5.43 | 7.22 | 10.11 | 10.27 | 7.36 | 7.94 | 6.79 | 4.66 | 5.32 | 65.04 | 105 |

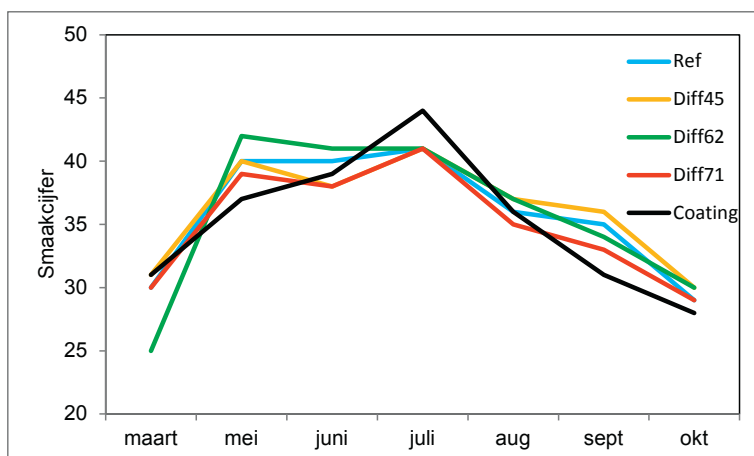
Om de invloed van de lichtsom op de productie te schatten is de lichtsom over 9 weken (globaal de tijd van bloei tot oogsten van een tros) uitgezet tegen de weekproductie. Er is zowel bij de referentie als bij Diff71 een duidelijk verband tussen de lichtsom van de 9 weken voor de oogst en de productie (Figuur 24.). Opvallend zijn de lage producties in week 29/30 en 36/37. Dit heeft hoogstwaarschijnlijk te maken met een lage instraling en ook lage gerealiseerde kastemperaturen in de voorafgaande weken.

Vanaf week 15 is de productie bij Diff71 in relatie tot de lichtsom vrijwel altijd hoger dan in de referentie.



Figuur 24. Vruchtproductie (kg m⁻²) bij de referentie- en Diff71-teelten in relatie tot de lichtsom (kJ cm⁻²) van de 9 voorgaande weken voor de oogst.

5.7 Kwaliteit



Figuur 25. Smaak van de vruchten op 6 dagen tijdens de teelt.

Voor wat betreft smaak gemeten met het smaakmodel zijn er geen verschillen tussen de behandelingen geconstateerd. In de zomermaanden is de smaak beter dan aan het begin en aan het eind van het seizoen. Het totale smaakniveau (gemiddeld 35 à 36) is vrij laag (Figuur 25.).

De smaak is mede gebaseerd op de refractie. Gemiddeld over de gehele periode kwam deze uit op 4.0 – 4.1 °Brix. Ook in zuurgehalte en percentage sap waren er geen behandlungsverschillen. Dit gold ook voor het vitamine C-gehalte. Het gemiddelde gehalte aan vitamine C over alle behandelingen was in maart, juli en september respectievelijk 10.7, 15.1 en 11.7 mg per 100 g versgewicht. Midden in de zomer was het vitamine C-gehalte dus het hoogst.

In totaal zijn zeven maal tomaten weggezet voor de houdbaarheid. Gemiddeld over de gehele periode is de houdbaarheid bij de referentie, Diff45, Diff62, Diff71 en de ReduFuse coating respectievelijk 14.5, 14.6, 14.5, 15.4 en 14.2 dagen. Dit betekent dat de houdbaarheidsverschillen te verwaarlozen zijn. Het totale houdbaarheidsniveau was goed.

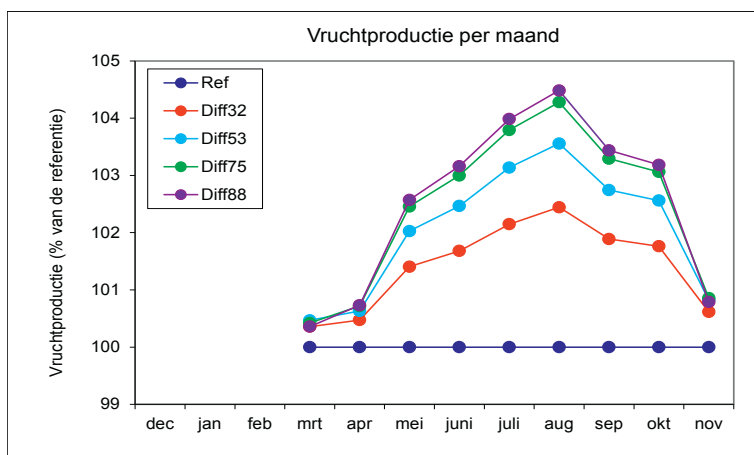
5.8 Model simulaties

5.8.1 Verkenningen vooraf

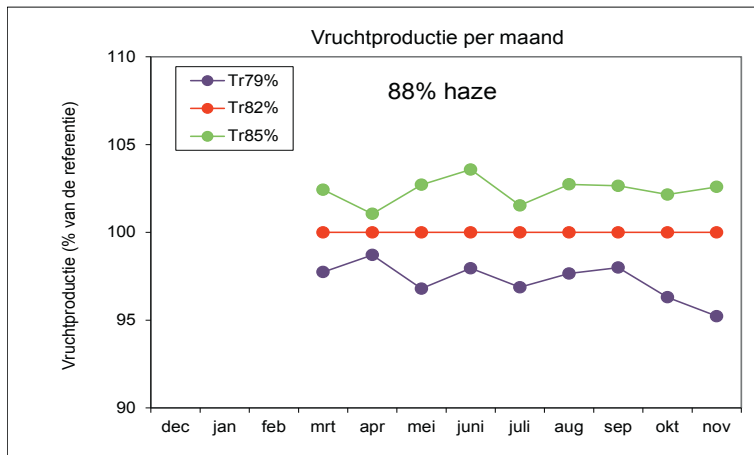
Met behulp van het geïntegreerde kas-gewasgroei-model Kaspro-INTKAM werd voorafgaand aan het kasexperiment een reeks van verkenningen uitgevoerd, waarbij het belang van de haze factor bij verschillende kastransmissies werd onderzocht. De verkenningen worden uitgevoerd voor Komeett, een source-gelimiteerd tomatenras, en voor een representatief 'SelJaar'. Met Kaspro werd op basis van het buitenklimaat en de kasinstellingen een binnenklimaat gegenereerd en met Intkam werd de versproductie van het tomatengewas berekend. De andere temperatuurgevoeligheid van het ras Komeett is in het Intkam gewasgroei-model opgenomen.

Een hogere haze leidt tot een hoger aandeel diffuus licht en als gevolg daarvan tot een andere lichtverdeling in het gewas, waarbij meer licht onderin het gewas komt. Er valt meer licht op delen die bij direct licht beschaduwde zijn, waardoor de horizontale lichtverdeling homogener wordt (zie Figuur 10.). De winst aan extra fotosynthese op deze bladeren is groter dan het verlies aan fotosynthese van direct licht op niet-beschaduwde bladeren. Een hogere haze is vooral van belang in de lichte (zomer)maanden. Een hogere transmissie van het glas leidt tot meer licht in de kas, wat bij eenzelfde lichtverdeling tot een hogere fotosynthese leidt. Een hogere transmissie is vooral van belang op relatief donkere dagen (bijvoorbeeld in de winter, maar ook op donkere zomerdagen). Dit is in de waarnemingen terug te zien in Figuur 21. (paragraaf 5.6.2). De behandeling 62% haze met 85% transmissie (Diff62) vertoont in de eerste maanden een relatief hoge productie ten opzichte van de andere behandelingen met 82% transmissie. In de zomer ligt de waargenomen productie van de behandeling met 45% haze (Diff45) duidelijk onder de andere twee behandelingen. In de simulaties is het effect van de haze terug te zien in Figuur 26, waar met name in de lichtere zomermaanden de productie bij een hogere haze stijgt. Een hogere transmissie (Figuur 27.) leidt eveneens tot een hogere gesimuleerde productie, al is het effect over de maanden heen ongeveer gelijk. Dit heeft mogelijk te maken met het feit dat er binnen de meeste maanden zowel donkere als lichte dagen zijn, en het effect van een hogere transmissie op donkere dagen deels wordt gedempt door het kleinere effect op lichte dagen.

Volgens deze verkenningen wordt de hoogste gesimuleerde vruchtproductie bereikt bij de combinatie van de hoogste transmissie en de hoogste haze.



Figuur 26. Gesimuleerde maandelijkse vruchtproductie bij een hemisferische lichttransmissie van 82% en verschillende waarden van de haze van het glas. De productie bij een haze van 0% is op 100 gesteld.



Figuur 27. Gesimuleerde maandelijkse vruchtproductie bij een haze van 88% en verschillende hemisferische lichttransmissies. De productie bij een transmissie van 82% is op 100 gesteld.

Het SeJaar wordt gekarakteriseerd door een piek in de zonnestraling in de zomermaanden, wat resulteert in een gesimuleerde productiepiek in de zomer (Figuur 26.). In de figuren staat de productie weergegeven, die vanaf maart plaatsvindt. Het model berekent ook de fotosynthese van het gewas. Het blijkt dat de fotosynthese als gevolg van verschillen in licht ook vanaf maart gaat verschillen en nog niet in de echte wintermaanden.

5.8.2 Narekenen van het experiment

De experimenten zijn ook achteraf nagerekend waarbij is uitgegaan van het gerealiseerde binnenklimaat. Tabel 13. geeft de waargenomen en gesimuleerde vruchtproducties (relatieve versgewicht t.o.v. 0% haze) op seizoensbasis voor wat betreft de transmissies en hazefactoren van het experiment. In Figuur 28. zijn dezelfde gegevens op maandelijkse basis gepresenteerd.

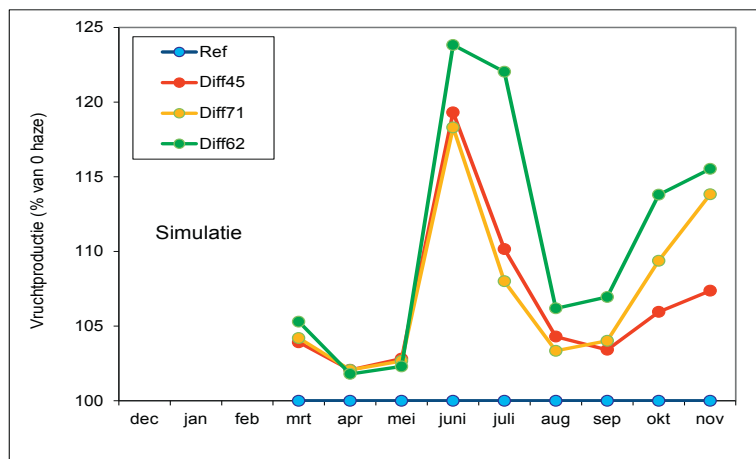
In Tabel 13. zijn de waargenomen en gesimuleerde producties weergegeven als percentage van hun referenties. In het algemeen worden de verschillen goed gesimuleerd. Het enige echte verschil treedt op bij het feit dat de gesimuleerde versproductie bij 62% haze en 85% transmissie (Diff62) het hoogst is, terwijl de waargenomen productie bij 71% haze en 82% transmissie (Diff71) het hoogst is. In de gesimuleerde verkenningen vooraf was al geconstateerd dat een hogere transmissie belangrijker is dan een hogere haze.

In het experiment is juist geconstateerd dat de eindproductie van Diff71 hoger is dan van Diff62. Figuur 22. leert dat vanaf week 36 de productie van Diff62 achterblijft bij die van Diff45 en Diff71. Dit is hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door de aanwezigheid van Botrytis (zie paragraaf 5.4) en het aantal stengels dat in het geteelde gewas is verwijderd (Tabel 13). Het is in de simulaties niet goed mogelijk om voor deze uitval te corrigeren.

Tabel 13. Totale versproductie gesimuleerd op basis van het gerealiseerde kasklimaat, en waargenomen in het experiment.

| Behandeling | | Versproductie, hele seizoen (%) | | Stengels verwijderd in experiment (%) |
|-------------|-----------------|--|-------------|---------------------------------------|
| Haze (%) | Transmissie (%) | Gesimuleerd: op basis van het gerealiseerde kasklimaat | Waargenomen | |
| 0 | 82 | 100 | 100 | 30 |
| 45 | 82 | 108 | 108 | 15-20 |
| 62 | 85 | 112 | 109 | 15-20 |
| 71 | 82 | 108 | 111 | 10 |

Het inhibitie-effect (Figuur 17.) is (nog) niet in het INTKAM model opgenomen. De verschillen tussen de Fv/Fm ratio voor de Diff-behandelingen waren in ieder geval klein, dus het is niet waarschijnlijk dat ze de simulatieverschillen tussen Diff65 en Diff71 verklaren.



Figuur 28. Gesimuleerde maandelijkse versproducties op basis van gerealiseerde binnenklimaat voor de behandelingen die in het experiment voorkwamen. De productie van de referentie (transmissie 82%, geen haze) is op 100 gesteld.

In Figuur 28. valt op dat ten opzichte van de referentie een flink hogere versproductie wordt bereikt in de maand juni. Dit is conform de verwachtingen. In april en mei was er relatief veel directe straling (zie Figuur 1.) dat door de behandelingen met een haze in diffuus licht wordt omgezet. Dit wordt met enige vertraging in de maand juni 'geogost'. De maand juni kende weinig direct licht, en er was dus weinig extra diffuus licht te genereren. Dit leidt tot weinig meerproductie ten opzichte van de referentie in de maanden augustus en september. In werkelijkheid (Figuur 21.) zijn deze verschillen over de tijd veel minder gemeten: vanaf het begin hadden de behandelingen met een haze een meerproductie van 7-10%. De vraag is dan ook welke effecten er in de praktijk een rol spelen die onze kennis over de werking van licht en de werking ervan in het gewas verder beïnvloeden en in het experiment voor een zekere stabilisatie hebben gezorgd. Het kan een vorm van gewasmanagement zijn of de condensatie-effecten op het glas van de referentie waar recentelijk aandacht voor is gekomen.

Samengevat:

- Simulaties vooraf voorspelden een positief effect op productie van zowel haze als transmissie.
- Simulaties vooraf voorspelden voor behandeling Diff62, met een 3% hogere transmissie – en dit is de bepalende factor (!) – de hoogste productie.
- Onze kennis van direct en diffuus licht, en van de werking ervan in het gewas, leiden tot de verwachting dat het sterkste effect optreedt als er veel direct licht buiten aanwezig is. De praktijk laat een veel stabielere extra productie zien.
- De experimentele gegevens moeten worden gezien in het licht van zeer verschillende uitval als gevolg van Botrytis. Als hiermee zo goed mogelijk rekening wordt gehouden wordt Diff62 waarschijnlijk de best producerende behandeling.

5.9 Kosten-baten analyse

De kosten van diffuus glas zijn hoger dan van standaard glas, en helemaal als die van een AR coating wordt voorzien om de lichttransmissie te verhogen. Uiteraard is het van belang te weten wat deze extra investeringen betekenen voor de bedrijfseconomie, hoeveel het kost en hoe lang het duurt voor het glas zichzelf terug heeft verdiend. Aan deze kosten-baten analyse is voorzien door rekening te houden met het type glas dat in het experiment is gebruikt, de gerealiseerde (meer)producties en de opbrengsten (middenprijzen trostomaat) per periode. Er zijn met 2 verschillende meerprijzen voor diffuus glas gerekend. Door per vierwekelijkse periodes te rekenen kan de extra productie in bepaalde seizoenen direct gekoppeld worden aan de periodeprijzen voor trostomaat. Voor wat betreft de ReduFuse coating is er bij het saldo uitgegaan van 0.4€ m² aan kosten voor het opbrengen en verwijderen van de coating. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 14.

Tabel 14. De extra productie onder een diffuus kasdek, het berekende saldo (€ per m²) en de terugverdientijd (jaar) bij een meerprijs van het glas van €11, resp. €15.

| Variant | Extra productie (%) | Saldo (€ m ²) | | Terugverdientijd (jaar) | |
|----------|---------------------|---------------------------|------|-------------------------|-----|
| | | Meerprijs glas | | Meerprijs glas | |
| | | €11 | €15 | €11 | €15 |
| Diff45 | 8 | 1.72 | 1.32 | 5.4 | 6.3 |
| Diff62 | 9 | 1.94 | 1.54 | 5.0 | 5.8 |
| Diff71 | 11 | 2.52 | 2.12 | 4.2 | 4.7 |
| ReduFuse | 5 | 1.15 | 1.15 | - | - |

Bij een meerprijs van €15 per m² glas is uiteraard het saldo (extra opbrengsten - kosten van het glas of coating) lager en de terugverdientijd (TvT) uiteraard langer, maar de terugverdientijd is korter naarmate de extra productie toeneemt, wat overeenkomt met een hogere Haze factor. Omdat de coating niet éénmalig wordt aangeschaft, maar indien nodig telkens wordt opgebracht, is er geen sprake van een terugverdientijd. Over het algemeen varieert de TvT van 4.2 tot 5.4 jaar bij een meerprijs van €11/m² en van 4.7 tot 6.3 jaar bij een duurder (€15) type diffuus glas.

6 Conclusies

Uit de resultaten van dit onderzoek kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. Er wordt een meerproductie gerealiseerd onder diffuus glas.

Vanaf het begin van de oogst was de kiloproductie onder diffuus glas hoger. Het glas met de hoogste haze factor (71%) kwam wat trager op gang in vergelijking met de overige diffuus glas types. De meerproductie was vooral het gevolg van zwaardere vruchten (gemiddeld 5-8 g zwaarder). Daarnaast vormden zich iets meer trossen (0.5 tros meer) bij diffuus licht en verliep de uitgroeiduur van de trossen wat sneller, vooral in mei en juni (1 tot 3 dagen). Zelfs in een zeer natte zomer, wat een hoog aandeel aan diffuus licht betekent, werd in de kassen gedekt met diffuus glas met een haze factor van resp. 45, 62 en 71% (Diff45, Diff62 en Diff71) een meerproductie gerealiseerd van 8, 9 en 11%. Door het verstrooien van het licht bereikt het licht meer bladeren waardoor er op gewasniveau meer licht benut kan worden voor groei en productie. Met de huidige glastypes tot ca. 70% haze en maximaal 3% hogere lichttransmissie, lijkt een meerproductie van 10-12% mogelijk. Met een nog hogere lichttransmissie (tot 7% meer licht) lijkt het mogelijk om een nog hogere meerproductie te realiseren.

2. Teeltoptimalisatie met diffuus glas is goed mogelijk.

De huidige kennis laat zien dat diffuus glas met een haze factor van 50% of meer het beste resultaat geeft voor de productie van vruchtgroenten. Voor zeer lichte omstandigheden zoals in de zomermaanden in Nederland, lijkt een haze factor van 60% of meer aan te bevelen. Echter, in alle gevallen, mogen er geen concessies gedaan worden aan de lichttransmissie. Dat moet om z'n minst zo hoog of bij voorkeur hoger zijn dan de lichttransmissie van standaard glas; waarden van 83% tot 88% hemisferisch gemeten lijken mogelijk. Daarnaast is het van belang alle bladeren in het gewas optimaal te bedienen van licht, of anders gezegd, al het licht dat in het gewas terecht komt moet voorzien worden van een optimaal (zo groot mogelijk) bladoppervlak. Daartoe kunnen tuinders de LAI verhogen, door bijvoorbeeld extra stengels aan te houden waardoor meer licht onderschept kan worden met een verhoging van de gewasfotosynthese als gevolg.

3. Ondanks een reductie in de lichttransmissie bij ReduFuse coating wordt een meerproductie gerealiseerd.

De ReduFuse coating is opgebracht in mei, toen de relatieve meerproductie onder de diffuse kasdekken al bijna maximaal gerealiseerd was. Ondanks het feit dat de coating in eerste instantie té dik is opgebracht, *et al.* gehaald en opnieuw opgebracht, is er uiteindelijk een meerproductie onder de coating gerealiseerd van bijna 5%. Dit biedt perspectieven voor telers met een bestaand bedrijf om een meerproductie onder invloed van diffuus licht te realiseren. De hogere productie valt dan echter niet samen met de vroege periode met hogere productprijzen.

4. Er wordt niet meer energie verbruikt onder een diffuus kasdek t.b.v. verwarming tijdens de teelt.

Uit de praktijk komen er geluiden dat het energiegebruik onder diffuus glas stijgt omdat er in de ochtend uren meer gestookt zou moeten worden. Tijdens dit onderzoek is er echter niet meer energie verbruikt onder een diffuus kasdek. Weliswaar is er 3% meer warmte in de Diff45 behandelingen gegaan, daar tegenover staat dat er respectievelijk 2% en 4% minder energie werd verbruikt in de Diff62 en Diff71 behandelingen. Als de lichttransmissie van diffuus glas gelijk of hoger is, komt er ook meer lichtenergie de kas in en er mag niet verwacht worden dat het energiegebruik onder diffuus glas zal stijgen.

5. Diffuus licht dringt dieper in het gewas, heeft een gelijkmatiger horizontale verdeling en verhoogt de fotosynthesecapaciteit.

De horizontale lichtverdeling onder een diffuus kasdek laat meer gelijkheid in lichtintensiteit (homogenere lichtverdeling) zien bovenin het gewas. Onder een diffuus kasdek kan er dieper in het gewas meer fotosynthese gerealiseerd worden als gevolg van meer licht, wat resulteert in een hoger droge stofgehalte in de onderste bladeren en ook stengels. Het moet echter gezegd worden dat de gemeten hogere fotosynthesecapaciteit gevonden werd bij lichtintensiteiten die niet vaak voorkomen onderin het gewas. Door de lichtintensiteit te verhogen kan er nog meer licht het gewas instralen.

6. Op dagen met veel zonlicht treedt niet of nauwelijks fotoinhibitie op onder diffuus glas.

Vaak is er rond het middaguur bij een lichtintensiteit van meer dan ca. 500 W m² een dip in de fotosynthese efficiëntie zichtbaar doordat de overtollige lichtenergie niet verwerkt kan worden (warmte dissipatie). Er kan dan fotoinhibitie (remming van de fotosynthesesnelheid) plaatsvinden en schade aan het fotosynthesesysteem II. Onder invloed van diffuus licht worden pieken in lichtintensiteit gedempt en vindt er minder snel fotoinhibitie plaats.

7. Onder een diffuus kasdek wordt minder Botrytis aantasting en minder plantuitval waargenomen.

Vooraf tegen het einde van de teelt is er minder Botrytis aantasting waargenomen en vielen er daardoor in de laatste 2 maanden van de teelt minder tomatenstengels uit onder diffuus glas. Dit heeft waarschijnlijk vooral te maken met de meer generatieve groei van het gewas, het ondervinden van minder stress (fotoinhibitie) gedurende de teelt en het hogere gehalte aan drogestof van de stengels onder diffuus glas. Voor de productie in dit experiment zal Botrytis een klein invloed hebben gehad, omdat *et al.* in week 36 (toen Botrytis begon op te spelen) de verschillen in meerproductie al nagenoeg gemaakt waren. Wanneer Botrytis veel eerder in de teelt een rol speelt, zullen de gevolgen voor de productie er ook te verwachten zijn.

8. Diffuus licht heeft geen effect op de smaak of houdbaarheid.

Er zijn tussen de behandelingen geen verschillen in smaak geconstateerd. Diffuus licht had ook geen effect op de refractie, droge stof- en vitamine C-gehalte en houdbaarheid. Het vitamine C gehalte was in de zomer het hoogst.

9. Diffuus glas verdient zich terug in 4 tot 6 jaar.

Uitgaande van de meerproductie die gerealiseerd is in dit onderzoek, de middenprijzen van tomatomaat per 4-weekse periode en een geschatte meerprijs van het glas, wordt de terugverdientijd van diffuus glas berekend op 4.2 tot 5.4 jaar bij een meerprijs van het glas van €11, en 4.7 tot 6.3 jaar bij een meerprijs van het glas van €15. Naarmate de meerprijs van het glas lager of de meerproductie in kilo's hoger wordt, zal de terugverdientijd korter worden. De haze factor van het glas mag dan niet te laag zijn, en de lichttransmissie zal vergelijkbaar of hoger moeten zijn dan bij standaard tuinbouwglas.

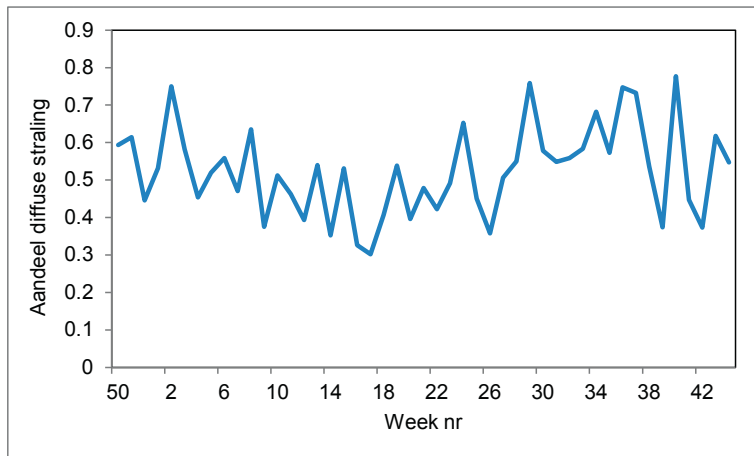
10. Simulatie modellen suggereren dat het effect van diffuus glas meer is dan van alleen meer licht

Wanneer de groei en productie vooraf én achteraf met de gerealiseerde kasklimaatdata worden gesimuleerd, voorspelt het model (Intkam) dat de grootste verklarende factor voor de meerproductie de factor licht moet zijn. Echter, niet alles wordt hiermee verklaard. Mogelijk spelen andere factoren hierin ook rol, zoals fotoinhibitie (incidenteel bij hoog licht), condens (regelmatig bij warme teelten) of Botrytis (op de lange termijn). Fotoinhibitie en Botrytis zijn nog niet voldoende kwantitatief beschreven om in een model op te nemen. Met betrekking tot condensvorming worden momenteel metingen gedaan die in een kasmodel moeten worden verwerkt.

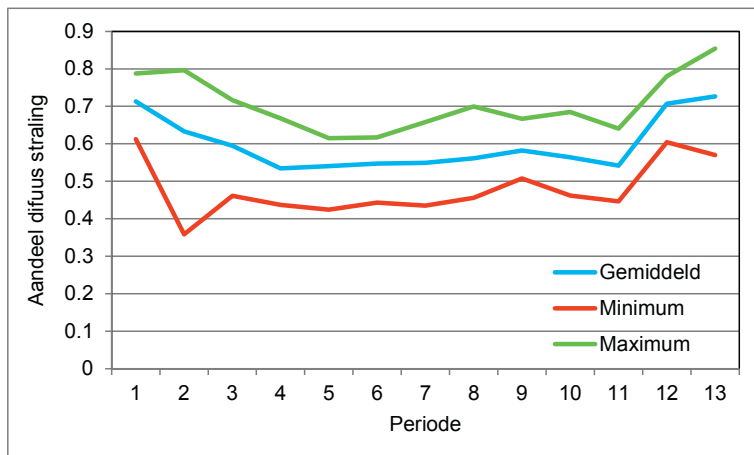
7 Referenties

- Brodersen, C.R., Vogelmann, T.C., Williams, W.E. and Gorton, H. L. 2008. New paradigm in leaf –level photosynthesis: direct and diffuse lights are not equal. *Plant, Cell and Environment*, 31, 159-164.
- De Casas, R.R., Vargas, P., Pérez-Corona, E., Manrique, E, García-Verdugo, C. & Balaguer, L. 2011. Sun and shade leaves of *Olea europaea* respond differently to plant size, light availability and genetic variation. *Functional Ecology* 25: 802-812.
- De Gelder J.A., Warmenhoven M., Kromdijk W., Driever S., De Zwart F., Stolker H. & Grootsholten M. 2012. Gelimiteerd CO₂ en het nieuwe telen tomaat. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw. 39 blz + bijlagen (in druk).
- Dieleman, J.A., Gelder, A. de, Janse, J., Eveleens-Clark, B.A., Lagas, P., Elings, A., Qian, T., Steenhuizen, J.W., Biemans, R. 2012. Temperatuurstrategieën in geconditioneerde kassen: Effecten op groei, ontwikkeling en onderliggende processen bij tomaat. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB 1123.
- Dueck T.A., Poudel D., Janse J. & Hemming S. 2009. Diffuus licht – wat is de optimale lichtverstrooiing? Rapport 308 Wageningen UR Glastuinbouw. 34 blz + bijlagen.
- Eveleens-Clark B.A., Lagas P., Driever S.M., Zwinkels J., Bij de Vaate J. & Kaarsemaker R.C. 2010. 40 kg Paprika. Rapport Wageningen UR Glasbouw.
- Geukemeijer P., Rongen B. & Van Telgen H.J. 2011. Monitoring gewasgroei tomaat onder diffuus kasdek 2. Praktijkmetingen in een jaarrond teelt van tomaat. Rapport Botany, Horst. 41 blz.
- Hemming S., Van Noort F., Hemming J. & Dueck T. 2007b. Effecten van diffuus licht op potplanten. Resultaten van een teeltexperiment. Nota 454, PRI, Wageningen. 39 blz. + bijlagen.
- Heuvelink E. 2005. Tomatoes. CAB International.
- Johnson, D.M. & Smith, W.K. 2006. Low clouds and cloud immersion enhance photosynthesis in understory species of a southern Appalachian spruce-fir forest (USA). *American Journal of Botany* 93: 1625-1632.
- Markvart, J., Rosenqvist, E., Aaslyng, J.M. & Ottosen C.O. 2010. How is canopy photosynthesis and growth of *Chrysanthemums* affected by diffuse and direct light? *European Journal of Horticultural Science* 75: 253-258.
- Muraoka, H., Takenaka, A., Tang, Y, Koizumi, H & Washitani, I. 1998. Flexible leaf orientations of *Arisaema heterophyllum* maximize light capture in a forest understorey and avoid excess irradiance at a derforested site. *Annals of Botany* 82:297-307.
- Out, P.G. & Breuer, J.J.G. 1995. The effect of coated glass on light transmission in greenhouses. Reprot 95-1, IMAG-DLO, Wageningen.
- Sarlikioti, V., De Visser, P.H.B. & Marcelis, L.F.M. 2011. Exploring the spatial distribution of light interception and photosynthesis of canopies by means of a functional-structural plant model. *Annals of Botany* 107:875-883.
- Sauviller, C., Goen, K., Van Mechelen, M. & Moerkens, R. 2011. Diffuus licht in paprika en tomaat. *ProeftuinNieuws* 19:24-25.

Bijlage I Aandeel diffuse straling van globale straling



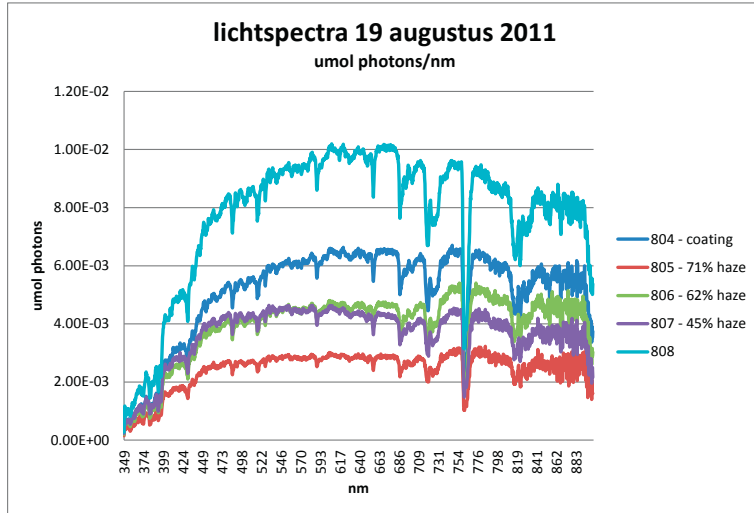
Het wekelijkse aandeel diffuse straling van globale straling gemeten in Bleiswijk in 2011.



Het gemiddelde, maximum en minimum aandeel aan diffuse straling van globale straling over de afgelopen 11 jaar gemeten in Wageningen.

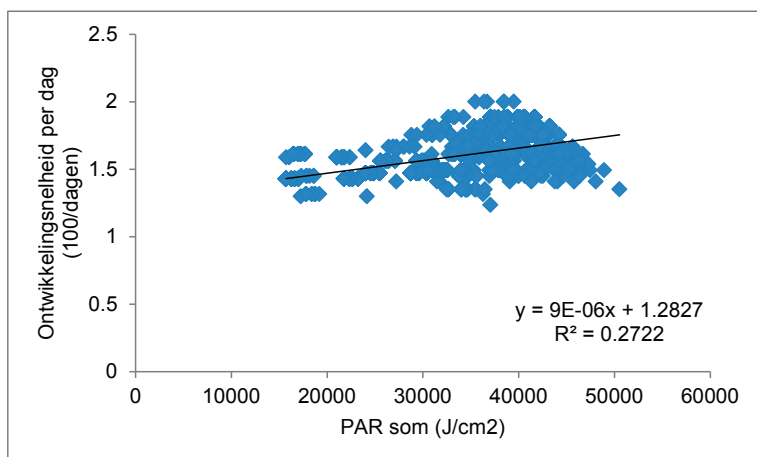
Bijlage II Normaliseren van spectrale metingen

Een grafiek van de verkregen data laat zien dat door kleine verschillen in lichtintensiteit in de tijd bijvoorbeeld als gevolg van de tijd die er zat tussen de metingen, de spectra onder de verschillende kasdekken boven elkaar liggen. De spectra zouden bij een gelijke lichtintensiteit min of meer op elkaar moeten liggen.



Om een vergelijking tussen de spectra te kunnen maken zijn de spectrale lijnen genormaliseerd. Dit is gedaan door voor elke behandeling het totaal aantal fotonen in het gebied van 500-650 nm op te tellen en met elkaar te vergelijken. De verhouding tussen de lijnen werd vervolgens gebruikt om ze te normaliseren. Het resultaat ervan is weergegeven in de resultaten.

Bijlage III Ontwikkelingsnelheid vruchten en PAR som



De ontwikkelingsnelheid (100/dagen) van 1709 trossen gedurende de teelt in relatie tot de PAR som over de periode van uitgroei.



Productschap  Tuinbouw



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie



Projectnummer: 3242104711 | PT nummer: 14231