



# Diffuus kasdek - maak het eens helder

Frank Kempkes, Martine Brunsting, Geert Franken, Silke Hemming, Ilias Tsafaras  
en Cecilia Stanghellini

Rapport WPR-1085

## Referaat

Diffuus glas kan potentieel bijdragen aan de doelstelling van een rendabele duurzame glastuinbouw, door de verbeterde groeiomstandigheden (productie en kwaliteit) zonder energetische gevolgen. In de praktijk heeft diffuus glas ingang gevonden, maar er rezen twijfels. Belangrijkste oorzaak is dat in de praktijk (in tegenstelling tot experimenten) de onderdelen licht en diffusiviteit onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn. Dat was de aanleiding om dit onderzoek te doen, met name lichttransmissie en diffusiviteit in de praktijk te ontrafelen. Voor dit project zijn de gegevens van 5 bedrijven gebruikt die zowel een kas met diffuus dek als een kas met helder dek hebben, met de gewassen komkommer, tomaat en cherrytomaat. Klimaatgegevens, lichtniveau op gewashoogte en opbrengstgegevens werden geanalyseerd om de twee vragen 1. 'Resulteert diffuus glas in de praktijk in een hogere opbrengst?' en 2. 'Verschilt het energiegebruik onder diffuus glas van het energiegebruik onder helder glas?' te beantwoorden. Om te corrigeren voor andere factoren (zoals plantdatum) is voor alle teelten de "radiation use efficiency" bepaald, dat is: hoeveel kilo's worden geoogst per eenheid beschikbare zonnestraling. Gemiddeld genomen over alle teelten (inclusief belichte) was de RUE in de diffuse kassen 8% hoger t.o.v. de heldere kassen. Na correctie voor alle andere factoren is er duidelijk geen verschil in energieverbruik tussen een diffuse en een heldere kas. Daarom is de energie-efficiëntie in de diffuse kassen hoger t.o.v. de heldere kassen.

## Abstract

Diffuse glass can potentially contribute to the objective of a profitable sustainable greenhouse horticulture, due to the improved growing conditions (production and quality) without energetic consequences. In research experiments it has been repeatedly proven that diffuse glass leads to a higher yield. However, adoption of diffuse covers in practice has been met by some skepticism. The main reason is that in practice (contrary to experiments) the components light and diffusivity are inextricably linked. That was the reason for this research, in particular to unravel light transmission and diffusivity in commercial practice. For this project, the data from 5 growers were used, who have both a greenhouse with a diffuse greenhouse cover and a greenhouse with a clear greenhouse cover, with crops of cucumber, tomato and cherry tomato. Climate data, light level at crop height and yield data were analyzed to answer two questions 1. "Does diffuse glass result in a higher yield in practice?" And 2. "Does the energy use under diffuse glass differ from the energy use under clear glass?". To correct for other factors (such as planting date), the "radiation use efficiency" has been determined for all crops, that is: how many kilos are harvested per unit of available solar radiation. On average for all crops, the RUE in the diffuse greenhouses was 8% higher compared to the clear greenhouses. After correction for all other factors, there is clearly no difference in energy consumption between the diffuse and the clear greenhouse. Therefore, the energy efficiency in the diffuse greenhouses is higher compared to the clear greenhouses.

## Rapportgegevens

Rapport WPR-1085

Projectnummer: 3742260900

PT nummer: 20077

Thema: Kasklimaat en energie

DOI: 10.1817/556873

Dit project is gefinancierd vanuit het programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma voor energiebesparing en verduurzaming in de glastuinbouw. van Glastuinbouw Nederland en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

## Disclaimer

© 2021 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, [www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research). Kamer van Koophandel nr.: 09098104 BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research. Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

## Adresgegevens

### Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Aanleiding</b>	<b>7</b>
	1.1 Doelstelling	7
	1.2 Werkzaamheden	7
<b>2</b>	<b>Werkwijze</b>	<b>9</b>
	2.1 Deelnemende bedrijven	9
	2.2 Productieprestatie	10
	2.2.1 Lichtniveau op gewashoogte	10
	2.2.2 LUE	13
	2.2.3 Efficiëntie van gebruik van globale straling	14
	2.2.4 Prestatie in relatie tot Hortiscatter	14
	2.3 Energieverbruik	15
	2.3.1 Bepaling van de k-waarde	15
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>17</b>
	3.1 Radiation Use Efficiency	17
	3.2 Light Use Efficiency	18
	3.2.1 Effect van Hortiscatter	22
	3.3 Energieverbruik	22
	3.3.1 Validatie van het berekende verbruik	22
	3.3.2 Is het energieverbruik echt anders?	24
	3.3.3 Is de k-waarde anders?	26
	3.3.4 Energie efficiëntie	28
<b>4</b>	<b>Discussie</b>	<b>29</b>
	4.1 Effect van transmissie	29
	4.2 Wat is wijs?	30
<b>5</b>	<b>Conclusie</b>	<b>31</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>33</b>
	<b>Bijlage 1 Additionele gegevens</b>	<b>35</b>
	<b>Bijlage 2 Artikelen in vakliteratuur</b>	<b>37</b>





# Samenvatting

Het effect van diffuus licht is in onderzoek bewezen. In experimenten met potplanten, roos en tomaat werden 5-11% hogere opbrengsten behaald onder diffuus glas t.o.v. helder glas bij een gelijke hemisferische transmissie van het kasdek. (b.v. Hemming *et al.* 2007; Dueck *et al.* 2012; Garcia *et al.* 2011). Daarom kan diffuus glas potentieel bijdragen aan de doelstelling van een rendabele duurzame glastuinbouw, door de verbeterde groeiomstandigheden (productie en kwaliteit) zonder energetische gevolgen. In de praktijk heeft diffuus glas ingang gevonden, maar er rezen twijfels. De twijfel in de praktijk komt erdoor dat glazen niet alleen de diffusiviteit (=Hortiscatter) veranderen maar gelijktijdig ook de lichttransmissie en dat kan op een kas in de praktijk niet los van elkaar worden gezien omdat men altijd met de combinatie van minimaal 2 factoren te maken heeft. Dat was de aanleiding om dit onderzoek te doen, met name een methode om lichttransmissie en diffusiviteit in de praktijk te ontrafelen.

In een samenvatting van onderzoek tot dan, Li *et al.* (2014) zijn alle factoren geanalyseerd en geprioriteerd die tot een dergelijke resultaat kunnen leiden. Bij hoog opgaande gewassen, de belangrijkste factor lijkt te zijn dat onder diffuus glas het licht het gewas dieper penetreert waardoor meer fotosynthese plaats vindt dan onder helder glas. Echter, er zijn nog weinig resultaten uit de praktijk die dit ook zo duidelijk laten zien. Daarom zijn er in dit project praktijkgegevens van verschillende gewassen en glastypes verzameld en geanalyseerd. In totaal zijn er 5 bedrijven uit een groep van meer dan 35 potentiële deelnemers overgebleven met een zowel een kas met diffuus kasdek als een kas met helder kasdek die goed te vergelijken zijn en bereid waren gegevens ter beschikking te stellen. Deze bedrijven teelden komkommer, tomaat en cherrytomaat. Daarnaast deed 1 teler met helder glas en een kas met helder glas met een dubbele AR coating mee, in deze kassen stond aardbei. Deze kassen zijn gedurende het project gemonitord. Klimaatgegevens, lichtniveau op gewashoogte en opbrengstgegevens werden geanalyseerd om de twee vragen: 1. 'Resulteert diffuus glas in de praktijk in een hogere opbrengst?' en 2. 'Verschilt het energiegebruik onder diffuus glas van het energiegebruik onder helder glas?' te beantwoorden. Andere vragen rondom levensduur van coatings en vervuiling spelen ook bij ondernemers, hiervoor zijn echter al andere separate projecten opgestart en is niet direct onderwerp in dit project.

Omdat bij alle deelnemende bedrijven, behalve het type glas (helder/diffuus, diverse niveaus Hortiscatter) ook andere factoren, zoals plantdatum, belichting en de kastransmissie verschilden, moest hier rekening mee gehouden worden. Daarnaast, resultaten moesten gerelateerd worden aan de literatuur, waar het effect van diffusiviteit zoveel mogelijk is losgekoppeld van het effect van licht transmissie, door de "efficiëntie van gebruik van beschikbaar licht" (Light Use Efficiency, LUE) als maatstaf te gebruiken. Dat is gedefinieerd als: hoeveel kilo's worden geoogst per eenheid beschikbaar PAR licht op gewashoogte. Om dit hier te bepalen is van de deelnemende bedrijven, per teelt de wekelijkse productiedata gerelateerd aan de lichtsom (inclusief belichting, waar nodig) op gewashoogte. Gemiddeld genomen over alle teelten was de LUE (kg vers oogst per mol licht) in de diffuse kassen 6% hoger t.o.v. de heldere kassen.

Lichttransmissie is een zeer relevante eigenschap van het kasdek en voor een ondernemer is de prestatie van het hele productiesysteem een betere maatstaf dan hoe efficiënt kan het gewas omgaan met het doorgelaten, dan wel toegediende licht. Een kasdek met een lagere transmissie zorgt in het algemeen voor minder productie, want de vuistregel 1% meer licht is ca. 1% meer productie geldt voor deze gewassen nog immer. Als bij een diffuus dek de lichttransmissie vermindert met 10%, ook al benut het gewas het doorgelaten licht met een 6% hoger efficiëntie, netto is er dan toch sprake van een productieverlies. Daarom is ervoor gekozen om ook de "efficiëntie van het gebruik van zonlicht" (Radiation Use Efficiency, RUE) te bepalen, om de onderdelen lichttransmissie en diffusiviteit te ontrafelen. RUE is gedefinieerd als: hoeveel kilo's worden geoogst per eenheid beschikbare zonnestraling. Om de heldere kas en diffuse kas als productiesysteem te vergelijken werd voor beiden de RUE uitgerekend. De RUE is gemiddeld 8% hoger in de diffuse kassen. Dus in andere woorden: per MJ globale straling worden er 8% meer kilogrammen geproduceerd in de diffuse kassen t.o.v. heldere kassen. Dat lichttransmissie evenredig is met productie is nog eens aangetoond door de analyse van de gegevens van het bedrijf met standaard helder glas en helder glas met anti-reflectie coating.

Veel bedrijven hadden voorafgaand aan het onderzoek het gevoel dat onder diffuus glas meer gestookt moet worden. Uit dit onderzoek blijkt echter dat voor alle deelnemende gewassen geldt dat, gemiddeld genomen, er geen verschil was in energieverbruik tussen de diffuse en de heldere kas. De energie-efficiëntie in de diffuse kassen was gemiddeld 12% hoger t.o.v. de heldere kassen. Naast het effect van diffusiviteit speelde hierbij ook het feit dat alle diffuse kassen (op een na) die in dit onderzoek werden meegenomen ook een hogere transmissie hadden. Er komt in deze kassen dus meer zonlicht, gratis energie, binnen.

Binnen dit onderzoek is een methodiek uitgewerkt om de data van praktijkbedrijven met elkaar te kunnen vergelijken ondanks de problematiek dat bedrijven, kassen op bedrijven en teelten in de kassen nooit helemaal hetzelfde zijn zoals dat in een onderzoekskas het geval zou zijn. Deze methodiek zou in de toekomst gebruikt kunnen worden om data van praktijkbedrijven op een geanonimiseerde en gestandaardiseerde wijze te analyseren.

# 1 Aanleiding

Het effect van diffuus licht is in onderzoek bewezen. Diffuus glas is door producenten volop ontwikkeld en er zijn diverse producten te koop voor ondernemers. De keuze voor het juiste glastype blijft voor een teler echter lastig door tal van onzekerheden waaronder het integrale effect van de lichttransmissie en de diffusiviteit van diverse glastypen in een praktijkkas en het effect van het glas in de loop van het seizoen op het gewas.

Vooraf de aan het diffuus glas verbonden meeropbrengsten blijken voor ondernemers een onzekere factor. Hierdoor zien wij dat meer (grote) bedrijven geneigd zijn voor het "zekere/het bekende" te kiezen, namelijk glas met een (zeer) lage diffusiviteit of zelfs helder glas, soms wel voorzien van 2xAR om voor maximaal licht te gaan. Hierdoor worden eerder behaalde positieve (onderzoeks)resultaten beperkt geïmplementeerd in de praktijk.

De "1% meer licht is ca. 1% meer opbrengst" regel is bekend in de praktijk voor vruchtgroenten.

Daartegen, de "10% meer Hortiscatter is gelijk aan 3% meer opbrengst" vuistregel is vooral gebaseerd op onderzoeksgegevens en niet op praktijkgegevens. Hierdoor zijn ondernemers onzeker over de te behalen voordelen op hun eigen bedrijf. Daarnaast hebben zij bij de keuze van het soort glas te maken met een interactie tussen lichttransmissie en diffusiviteit, wat een inschatting van het effect op het praktijkbedrijf bemoeilijkt. Data uit de praktijk van diverse gewassen is dan ook wenselijk.

In de praktijk heerst daarnaast ook nog het idee/gevoel dat toepassing van diffuus glas het energiegebruik verhoogt. Dit zou een negatieve weerslag op de toepassing van diffuus glas kunnen hebben. Ook hier hebben de ondernemers te maken met een interactie tussen licht- (dus energie-) doorlatendheid en diffusiviteit en soms een andere gewasontwikkeling die aanpassingen aan de klimaatregeling vereisen. Daarom wordt in dit project ook nadrukkelijk naar klimaat en energiegebruik van deze kassen gekeken in vergelijking met de heldere afdelingen.

## 1.1 Doelstelling

Verkrijgen en begrijpen van praktijkgegevens van verschillende gewassen en glastypes, om een voor de praktijk bruikbare vuistregel op te stellen tussen Hortiscatter (een maatstaf voor diffusiviteit) en productie enerzijds en eventuele effecten op het energiegebruik anderzijds bloot te leggen. De oorspronkelijke doelstellingen van dit project zijn dan ook in de volgende punten samen te vatten:

- Bepalen van de (meer)opbrengst van diverse gewassen onder diverse types diffuus glas in (grote) praktijkkassen.
- De Hortiscatter relateren aan de (meer)productie.
- Relatie Hortiscatter en de energie-efficiëntie.
- De relatie Hortiscatter en energiegebruik van de kas bepalen.

Om deze vragen te beantwoorden is een zo divers mogelijke groep van deelnemende bedrijven benodigd. De resultaten zijn achteraf beperkt gebleven door de geringe aantal en diversiteit van de groep geschikte bedrijven.

## 1.2 Werkzaamheden

Het doel van het project was om op een representatieve en objectieve manier de noodzakelijke data te verzamelen die nodig zijn voor inzicht in:

- Bepaling van productie prestaties van kassen met helder en diffuus glas zodat de meerwaarde van diffuus glas op de productie gekwantificeerd kan worden, afhankelijk van de Hortiscatter van het gebruikte glastype.
- Bepaling of er aanwijzingen zijn dat het energiegebruik onder diffuus glas op een hoger niveau dan bij een vergelijkbaar, standard kas ligt bij geselecteerde bedrijven.





## 2 Werkwijze

### 2.1 Deelnemende bedrijven

Bij de start van het project is via kassenbouwers en glasleveranciers een overzicht gemaakt van potentieel deelnemende bedrijven. In een ideale situatie heeft een bedrijf 2 exact gelijke kassen met zelfde uitrusting zoals schermen, eventuele belichting, kap en vakmaat, dezelfde plantdatum van het zelfde ras. In oorsprong waren 38 potentiële deelnemers, 12 bloemen en potplanten, 3 zachtfruit en 23 glasgroentenbedrijven beschikbaar. Er zijn vele bedrijven uit deze groep afgehaakt. De reden hiervoor was zeer divers. Bij de bloemen en potplanten wordt de heldere kas vaak een groot deel van de teelt van een coating voorzien wat zeker bij langzaam groeiende gewassen als phalaenopsis het onmogelijk maakt teelten te vergelijken. In het zachtfruit waren de teelten vaak zo verschillend: bijv. doordragers versus junidragers, dat productievergelijking binnen het bedrijf onmogelijk wordt, en vooral in de groenten hadden bedrijven belichte en onbelichte teelten met verschillende rassen en plantdata (maanden verschil) wat een productievergelijking wederom onmogelijk maakt.

Daarnaast moesten potentiële deelnemers ook bereid zijn gegevens te delen. Er is daarbij vooraf uitdrukkelijk gekozen om bedrijven niet onderling te vergelijken maar per bedrijf de heldere met de diffuse kas en data geanonimiseerd in het onderzoek te gebruiken. Uiteindelijk zijn er 6 bedrijven overgebleven, geen bloemen en potplanten, 5 groenten en 1 zachtfruit bedrijf waarvan voldoende data overbleef om een goede analyse uit te voeren. Helaas ondervonden bedrijven tijdens het project ook problemen met virussen waardoor teelten, gedeeltelijk, geruimd moesten worden waardoor er een te grote beïnvloeding van de productiegegevens op de betreffende bedrijven ontstond.

Van de deelnemende bedrijven zijn per teelt de wekelijkse productiedata en de klimaat & weerdata uit de klimaatcomputer (5-minuten interval) verzameld. Om informatie over het kasdek te krijgen zijn per bedrijf ook de, indien aanwezig, GroenLabelKas documenten en uitgevoerde glasmetingen opgevraagd. Daarnaast is er per teler 1 diffuse ruit van de diffuse kas gemeten in het LightLab van WUR Glastuinbouw. Indien er van de heldere kas geen glasmeting beschikbaar was, is er ook een ruit van de heldere kas gemeten in het LightLab van WUR Glastuinbouw. In de onderstaande Tabellen is per bedrijf de belangrijkste info weergegeven.

In tegenstelling tot de 5 groente bedrijven, vergelijken wij bij het zachtfruit bedrijf de heldere kas met een superheldere kas (kasdek van helder glas met een dubbele AR coating). Omdat dit afwijkt van de overige bedrijven zullen de resultaten van het zachtfruit bedrijf pas in de discussie worden besproken.

Tabel 1

Overzicht van de beschikbare gegevens per teler.

Teler:	T1	C1	K1	T2	C2	A1
Gewas	Tomaat	Cherry tomaat	Komkommer	Tomaat	Cherry tomaat	Aardbei
Type teelt	Belicht	Onbelicht	Onbelicht	Onbelicht	Belicht	Onbelicht
Beschikbare data						
- Productie	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
- Klimaat	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
- Meteo	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
- lichtmetingen	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee	Ja
- gemeten gasverbruik	Ja	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee

Tabel 2

Teelt overzicht per teler.

Teler:	T1				C1		K1			T2		C2	
Helder	T1-1	T1-2	T1-3	T1-4	C1-1	C1-2	K1-1	K1-2	K1-3	T2-1	T2-2	C2-1	C2-2
- teelt lengte (wk)	53	54	52	24	51	29	27	16	15	45	38	51	37
- start week	32	34	38	40	1	1	1	29	4	1	1	38	39
Diffuus													
- teelt lengte (wk)	54	53	52	20	51	29	24	18	14	53	32	50	48
- start week	37	39	42	44	1	1	2	28	5	51	1	29	28

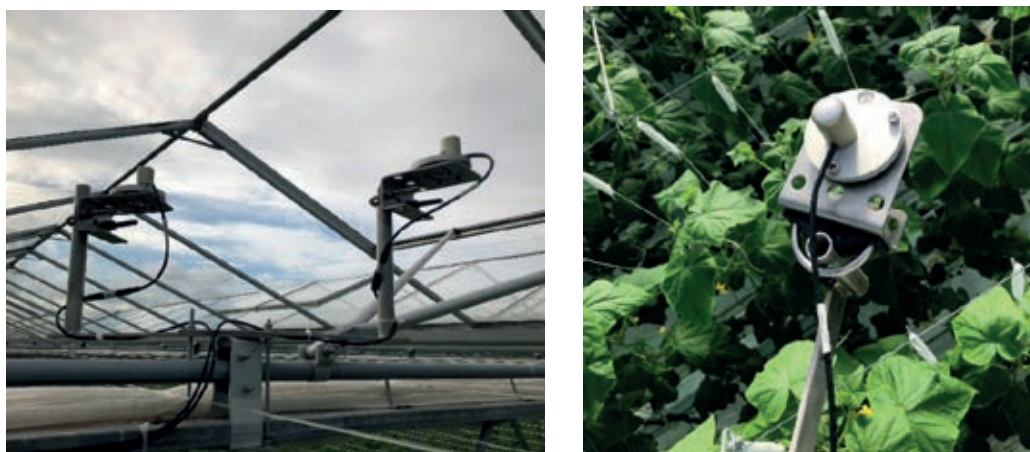
## 2.2 Productieprestatie

Om het effect van enkel diffuus licht op de gewasprestatie te bepalen, is in eerder onderzoek en in de literatuur getracht om dezelfde lichttransmissie te hebben in de diffuse behandeling als in de heldere. Dat was echter bij geen een van de deelnemende bedrijven in de praktijk het geval het geval. Dus, om de resultaten in verband te kunnen brengen met de literatuur, is gekozen om ook de efficiëntie van gebruik van de licht beschikbaar op gewasniveau (Light Use Efficiency, LUE) te bepalen. Die is gedefinieerd als: hoeveel kilo's worden geoogst per eenheid beschikbare licht op gewashoogte. Om dit te bepalen, moet het lichtniveau op gewashoogte bekend zijn.

### 2.2.1 Lichtniveau op gewashoogte

De transmissie van het kasdek konden we bepalen voor een drietal bedrijven waarbij de hoeveelheid PAR op gewashoogte en de hoeveelheid PAR onder het glas gemeten werd met PAR-sensoren. Om de globale straling (de meting buiten) om te rekenen naar PAR (de meting binnen) is deze vermenigvuldigd met de factor 2.1  $\mu\text{mol}/\text{J}$ , dit is de gemiddelde PAR inhoud van zonnestraling.

Twee sensoren zijn geïnstalleerd boven op de tralie onder het glas en een derde PAR sensor was geïnstalleerd op gewashoogte, zie onderstaande foto's, Figuur 1.



**Figuur 1** De PAR-sensoren onder het glas (links) en de PAR-sensor boven het gewas (rechts).

De sensoren zijn niet in de nabijheid van een luchtraam, op de zuidzijde gericht, geïnstalleerd om te voorkomen dat er directe straling gemeten wordt wat door de raamopening de kas in schijnt. De transmissie van het kasdek is bepaald als de verhouding tussen dagtotaal op gewashoogte en dagtotaal buiten (Figuur 2 en 3). Zoals Figuur 2 laat zien, de sensor op gewashoogte komt een paar keer per dag in de schaduw van een constructiedeel, zoals ook voor alle gewasdelen het geval is. Onder een diffuus dek zijn de schaduwen minder scherp, zie Figuur 3, maar ze zijn er wel. Daarom is in alle gevallen het dagtotaal van de sensor op gewashoogte gebruikt om een indicatie te hebben van de totale transmissie van het kasdek. Het dagtotaal is genomen over de gehele periode dat de PAR-sensoren geïnstalleerd waren, wat neer komt op minimaal 140 dagen per teler. Voor deze bepalingen zijn alleen de metingen gebruikt op de momenten waarop het scherm niet in gebruik was.

De PAR sensoren zijn aangesloten op een datalogger die dagelijks de metingen naar WUR Glastuinbouw verstuurd. Het is een enkele keer voorgekomen dat een van de dataloggers niet goed functioneerde vanwege bijv. een tijdelijke stroomonderbreking. De lichtsom voor die periode is dan ook niet meegenomen in de analyses.

Van de overige bedrijven is het lichtniveau op gewashoogte berekend a.d.h.v. de globale straling en de berekende transmissie op gewashoogte. Op basis van de IDT methode en de beschikbare GLK certificaten van de bedrijven is er een vuistregel opgesteld om het lichtverlies per constructieonderdeel te bepalen om zo de transmissie op gewashoogte uit te rekenen. De volgende constructie onderdelen zijn onderscheiden: tralie, het glas, ruiten (inclusief roeden), schermen en lampen (indien van toepassing). Uit de vuistregel is afgeleid dat er 0.0105% lichtverlies optreedt per ruit per tralie per kap. Het lichtverlies door het scherm pakket is bepaald d.m.v. de scherm brochure, en het lichtverlies door de eventueel aanwezige armaturen is berekend met het ray-tracing model Raypro. Indien de transmissie van het glas onbekend was, werd de hemisferische transmissie van het betreffende glas door het LightLab van de WUR Glastuinbouw bepaald (Tabel 3). In Bijlage 1, Tabel 1, zijn de exacte lichtverliezen per constructie element per teler te vinden.

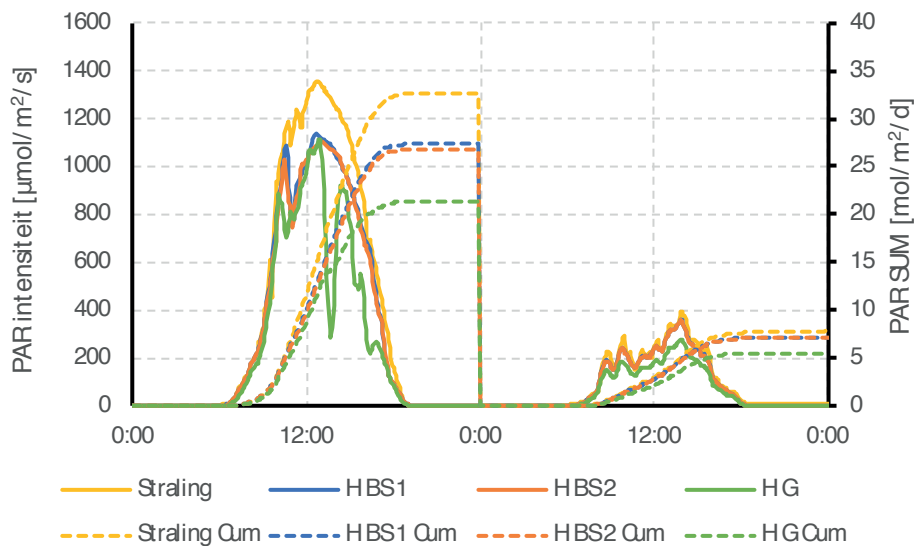
**Tabel 3**

*Overzicht van de glastransmissie, zoals in het lab gemeten.*

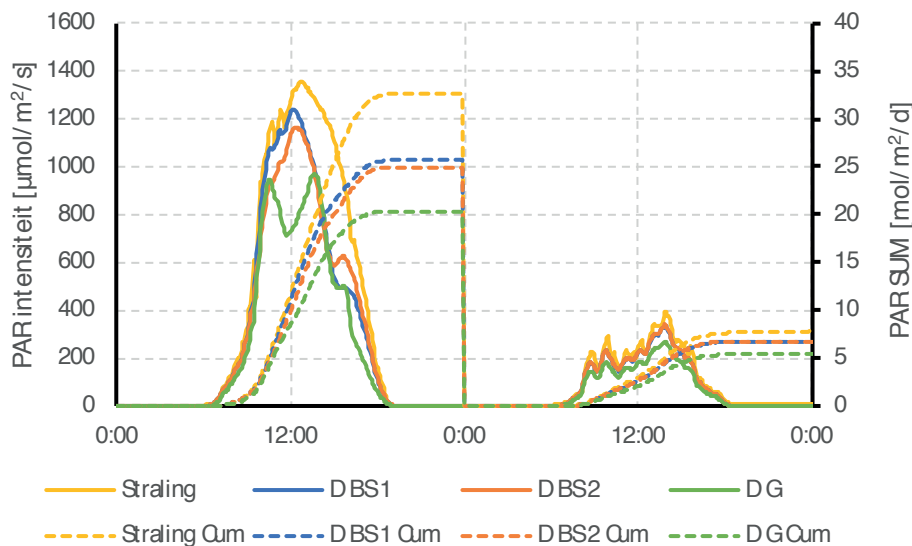
Teler:	T1	C1	K1	T2	C2	A1*
<b>Glas helder (%)</b>						
- hemis. trans.	84	81.3	81.7	84	84	82.4
<b>Glas diffuus (%)</b>						
- Hortiscatter	24	12	69	11	16	-
- hemis. trans.	87.9	85.4	77.5	83	88.1	87.4

*\*Bij dit bedrijf werd de vergelijking gemaakt tussen super helder (helder glas met dubbele AR coating) en standaard helder glas.*

Om zeker te zijn dat de bovenstaande methode accuraat is voor de bepaling van het lichtniveau op gewashoogte, is deze methode gevalideerd met de gemeten transmissie die is bepaald met de PAR-metingen, voor de bedrijven waar de sensors geïnstalleerd waren zie Figuur 2 en 3.

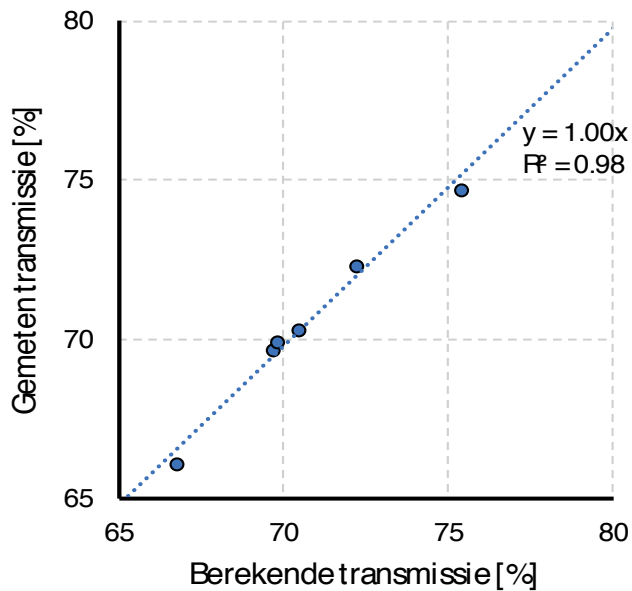


**Figuur 2** De gemeten PAR intensiteit en PARSOM op een representatieve zonnige dag en een representatieve bewolkte dag in één van de heldere kassen (H). Er waren 2 sensoren boven het scherm (BS 1 en BS 2) en 1 sensor op gewashoogte (G).



**Figuur 3** De gemeten PAR intensiteit en PARSOM op een representatieve zonnige dag en een representatieve bewolkte dag in één van de diffuse kassen (D). Er waren 2 sensoren boven het scherm (BS 1 en BS 2) en 1 sensor op gewashoogte (G).

Uit Figuur 4 is af te leiden dat de berekende transmissie en de gemeten transmissie nagenoeg overeenkomen. Dus voor de bedrijven waar geen lichtmetingen zijn uitgevoerd, konden wij het lichtniveau op gewashoogte gedurende een teelt nauwkeurig berekenen door de globale straling te vermenigvuldigen met de berekende transmissie op gewashoogte. In het geval van een belichte teelt werd hier de lichtintensiteit van de assimilatie belichting nog bij opgeteld. Hiervoor is de periode dat de lampen in gebruik waren vermenigvuldigd met de lichtintensiteit zoals aangegeven door de producent en de hoeveelheid strengen die op dat moment in gebruik waren.

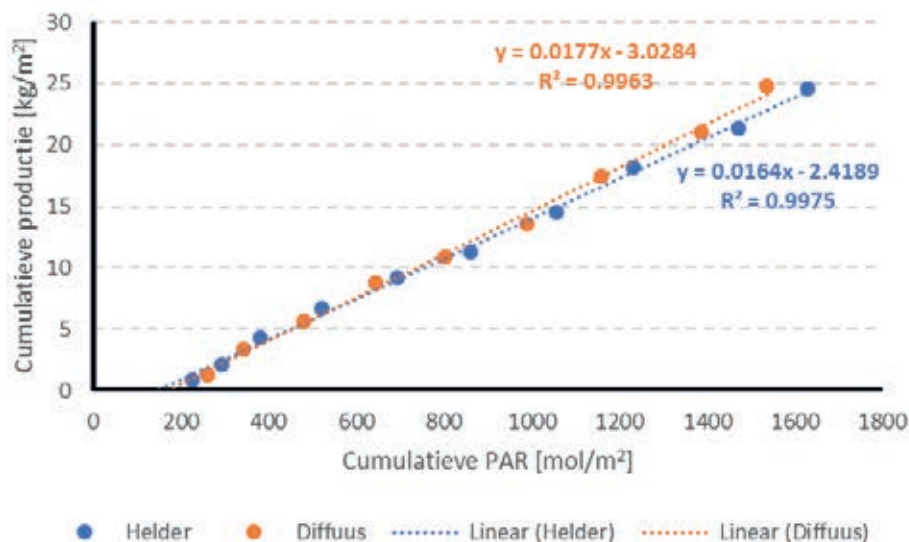


**Figuur 4** Vergelijking tussen de gemeten en berekende transmissie met de gemeten transmissie op de y-as en de berekende transmissie op de x-as voor zowel de diffuus als heldere kas, van 3 verschillende bedrijven waar intensief met PAR sensoren is gemeten.

### 2.2.2 LUE

Doordat er heel vaak verschillen zijn in plantdatum, belichting en teeltduur tussen de heldere en de diffuse kas van een teler, is een rechtstreekse vergelijking van de oogst onmogelijk. Daarom is ervoor gekozen om het "efficiëntie van gebruik van het beschikbare licht" (Light Use Efficiency, LUE) te bepalen. Dat is: hoeveel kilo's geoogst per eenheid PAR licht beschikbaar op gewashoogte (inclusief belichting waar nodig). Dit is ook wat gebruikt wordt in het onderzoek over effecten van diffuus glas, om te corrigeren voor mogelijke verschillen in licht transmissie van het kasdek. Van de deelnemende bedrijven is per teelt de wekelijkse productiedata gerelateerd aan de lichtsom, berekend zoals hierboven geschreven. Het is mogelijk dat andere factoren dan het type glas ook een rol spelen (bijv. gewasmanagement), maar dit is geminimaliseerd door steeds de diffuse en de heldere kas met hetzelfde gewas van dezelfde teler te vergelijken.

De LUE hebben we gedefinieerd als de helling van de relatie tussen cumulatieve productie en cumulatieve PAR op gewashoogte, ongeacht het snijpunt (dit hangt namelijk af van de plantgrootte bij het planten in de kas), zie Figuur 5 voor een voorbeeld. Met deze methode is het ook mogelijk om nuttige informatie over ziekte en of plagen in het gewas te zien doordat een verandering van de helling duidelijk naar voren komt.



**Figuur 5** Voorbeeld van de berekende LUE voor een diffuse en een heldere kas met de cumulatieve PAR op de x-as en de cumulatieve productie op de y-as. In dit geval, LUE in de diffuse kas was 17.7 g (versgewicht) per mol PAR op gewashoogte en in de heldere kas 16.4 g/mol.

Voor de belichte teelten zijn alleen die weken meegenomen waarin de PAR som van de assimilatie belichting kleiner is dan 50% van de totale wekelijkse PAR som op gewasniveau. Daarnaast worden alleen de weken meegenomen als de cumulatieve oogst van de teelt 1.5 kg/m<sup>2</sup> heeft bereikt aangezien de productie in de eerste weken relatief laag kan zijn en daarom niet representatief is t.o.v. de rest van de teelt. Uiteindelijk wordt ook de productie van de laatste weken niet meegenomen als de helling van die data afwijkt t.o.v. de helling van de gehele teelt.

Daarnaast is er per teelt door de teler gerapporteerd of er problemen zijn geweest die de productie beïnvloed hebben. Deze info hebben wij ook meegenomen in de discussie van de resultaten.

In eerste instantie is steeds de LUE voor een volledige teelt berekend. Echter, omdat er in het voorjaar relatief veel direct licht is en weinige hete dagen, werd de LUE ook apart voor de maanden maart t/m juni uitgerekend.

### 2.2.3 Efficiëntie van gebruik van globale straling

Echter wat relevant is voor een ondernemer, is de prestatie van het hele productiesysteem, dat is: hoe efficiënt wordt omgegaan met de gratis beschikbare zonne-energie. Daarom is ervoor gekozen om ook het "efficiëntie van gebruik van het zonlicht" (Radiation Use Efficiency, RUE) te bepalen. Dat is: hoeveel kilo's worden geoogst per eenheid beschikbare zonnestraling. Om de heldere kas en de diffuse kas als productiesysteem te vergelijken wordt voor beiden de RUE uitgerekend. De RUE hebben we zoals hierboven gedefinieerd als de helling van de relatie tussen cumulatieve productie en cumulatieve globale straling buiten de kas, bepaald voor dezelfde periode als hierboven omschreven. Dit geeft een matstaaf voor de efficiëntie van het groeisysteem als geheel.

### 2.2.4 Prestatie in relatie tot Hortiscatter

Hortiscatter is een maat voor de lichtverstrooiing (diffusiviteit) van kasdekmaterialen en wordt uitgedrukt als percentage tussen 0 en 100. Een waarde van 0 geeft aan dat het materiaal het licht niet verstrooit (standaard tuindersglas) en een waarde van 100 geeft een 'perfecte' verdeling van het licht weer, waarbij naar elke hoek dezelfde hoeveelheid licht wordt verstrooid, Lambertiaanse diffusor. Geen van de deelnemende bedrijven had informatie over de Hortiscatter van zijn diffuus glas. Daarom is er van alle deelnemende bedrijven een monster van een diffuse ruit uit het kasdek gemeten in het LightLab van WUR Glastuinbouw volgens NEN norm 2675.



Volgens de norm wordt er in dergelijke metingen ervan uitgegaan dat een gemeten ruit representatief is voor het gehele kasdek. Aan de hand van deze metingen kan er uiteindelijk onderzocht worden of er een correlatie bestaat tussen Hortiscatter en de LUE verschillen van de heldere en diffuse kassen.

## 2.3 Energieverbruik

Van een aantal bedrijven was het totale gasverbruik per teelt beschikbaar. Echter, doordat in de meeste gevallen de teeltomstandigheden en soms zelfs de gewasduur in de twee kassen niet identiek waren, is een rechtstreeks vergelijking van het totale energieverbruik in de twee types kassen niet zinvol.

Daarom is gekozen om het momentane energieverbruik te berekenen zodat er gecorrigeerd kan worden voor het verschil in de lengte van het teeltcyclus en de data gefilterd kan worden op momenten waar de omstandigheden in de kassen het beste vergelijkbaar waren. Voor deze berekening werden de gemeten buistemperaturen van de betrokken bedrijven gebruikt.

Verwarmingsbuizen geven langs twee wegen warmte af: convectie en straling. Het energieverbruik van alle bedrijven werd berekend door een factor warmteoverdracht voor straling en convectie te berekenen en deze te vermenigvuldigen met het momentane verschil tussen buisoppervlakte en luchttemperatuur (Nawrocki, 1991):

$$C_{convectie} = c * \left( \frac{T_{buis} - T_{kas}}{d * T_{kas}} \right)^{0.25} \quad [W/(m^2.K)]$$

$$C_{straling} = 2.077 * 10^{-7} * \left( \frac{T_{buis} + T_{kas}}{2} \right)^3 \quad [W/(m^2.K)]$$

De warmteafgifte per m<sup>2</sup> kas, per uur werd vervolgens berekend:

$$Q_W = (C_{convectie} + C_{straling}) * A * (T_{buis} - T_{kas}) * \frac{\text{aantal buizen per kap}}{\text{kapbreedte}} * 3600 \quad [J/(m^2.uur)]$$

Waarbij:

$C_{convectie}$  = Factor warmteoverdracht door convectie

$C_{straling}$  = Factor warmteoverdracht door straling

$c$  = convectiecoëfficiënt, hier 5,2 zoals gemeten door Nawrocki (1985)

$d$  = diameter van de buis [mm]

$T_{buis}$  = gemeten temperatuur van de aanvoer - 2

$T_{kas}$  = kasluchttemperatuur

$A$  = oppervlakte van een 1 m lange sectie van een verwarmingspijp [m<sup>2</sup>]

De temperaturen zijn in K, dus gemeten waarde + 273.16.

De buistemperatuur wordt aan het begin van het buisnet gemeten, er waren geen retour buistemperaturen beschikbaar. We namen aan dat de gemiddelde buistemperatuur over het hele net, 2 graden lager ligt dan de aanvoer daarom werd er 2 graden van de gemeten buistemperatuur afgetrokken voor de berekeningen.

Wanneer er een rail- en groeibuis werden gebruikt, werd voor beiden buizen de warmteafgifte berekend en werden deze bij elkaar opgeteld.

Als eerste is de methodiek gevalideerd door vergelijking met het wekelijkse verbruik van de bedrijven waarvan het gasverbruik bekend was. Daarna werd de energieafgifte berekend voor alle bedrijven en teelten.

### 2.3.1 Bepaling van de k-waarde

Zoals boven gezegd, zijn vergelijkingen tussen de kassen vaak onmogelijk omdat zelden het enige verschil tussen twee kassen het type glas is. Er zijn veel andere factoren zoals (lek)luchtverliezen of schermtype die het energieverbruik beïnvloeden. Om het eventuele effect van zuiver het glas type in beeld te brengen, zijn data gebruikt van twee bedrijven wiens helder en diffuus kas vrijwel gelijk en even oud zijn.

De k-waarde is berekend door de uurgemiddelde warmtevraag ( $Q_w$ ) te delen door het temperatuurverschil tussen binnen en buiten.

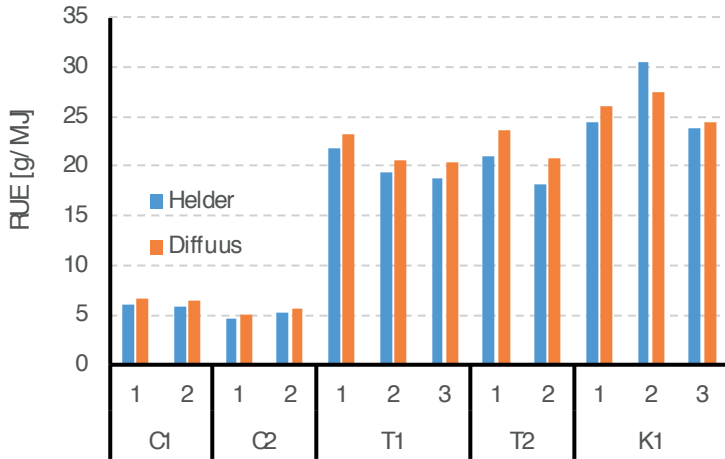
$$K\text{waarde} = \frac{\text{Warmtevraag}}{T_{\text{kas}} - T_{\text{buiten}}} \quad [\text{W/m}^2 \text{ K}]$$

Om grote variaties te voorkomen, zijn de berekeningen beperkt tot de gevallen die aan de volgende voorwaarde voldeden: nacht, tussen januari en april, scherm in gebruik, ramen dicht.

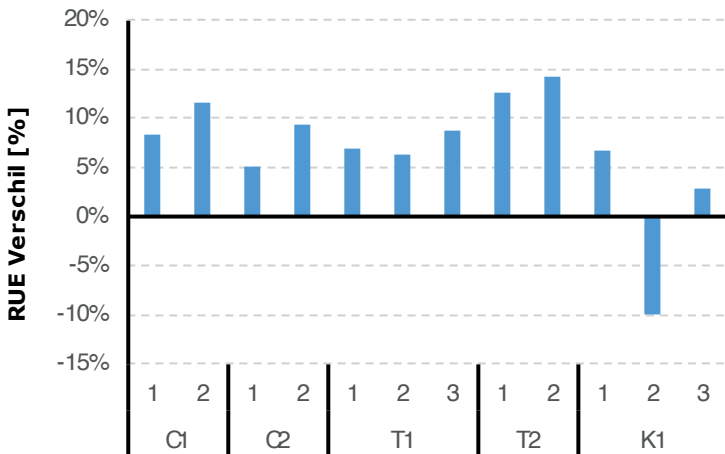
# 3 Resultaten

## 3.1 Radiation Use Efficiency

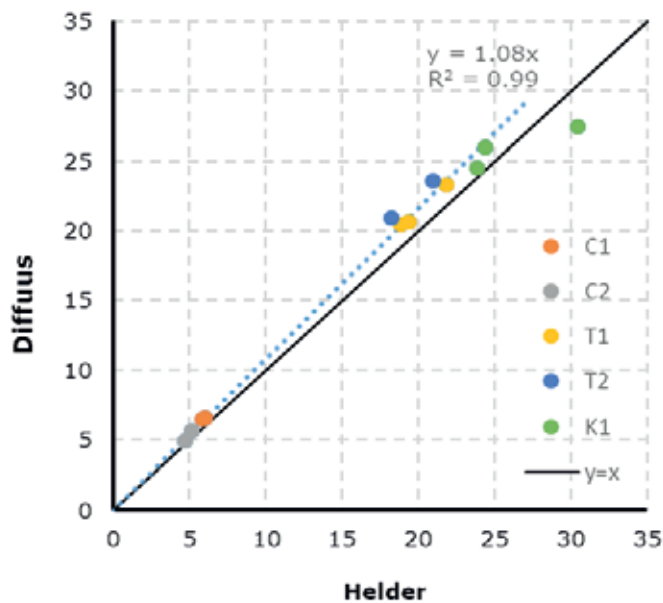
Voor alle teelten is de RUE uitgerekend voor de heldere en diffuse kas, en het verschil in RUE, zie de onderstaande grafieken:



**Figuur 6** RUE voor alle teelten voor de heldere en de diffuse kas.



**Figuur 7** Verschil in RUE tussen de heldere en diffuse kas voor alle teelten.



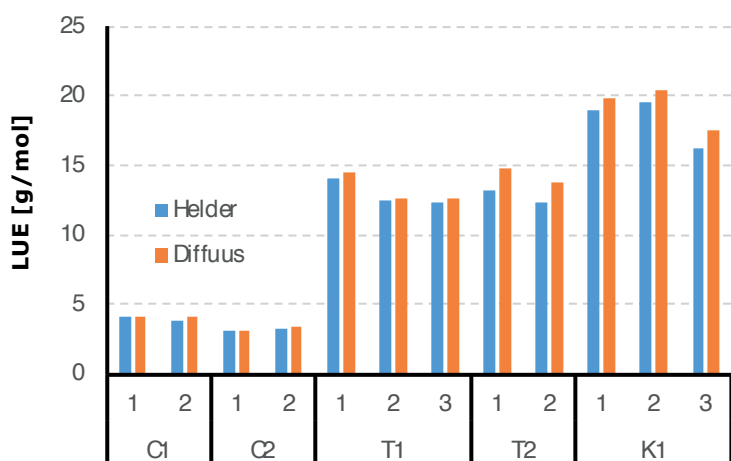
**Figuur 8** De RUE van de diffuse kas geplot tegen de RUE in de heldere kas. Het afwijkende punt (rechts boven) is van een herfstteelt waarbij in de heldere kas werd gekrijt (diffuse coating) aan het begin van de teelt. Echter presteerde die teelt veel beter ook lang nadat de krijt was afgewassen, daarom is dit punt niet meegenomen in het bepalen van de helling.

Uit de bovenstaande grafieken komt naar voren dat de RUE op 1 cyclus na altijd hoger is in de diffuse kassen. Dus in andere woorden: per MJ globale straling worden er 8% meer kilogrammen geproduceerd in de diffuse kassen t.o.v. heldere kassen.

In deze analyse zijn de andere eigenschappen van het kasdek (zoals transmissie) impliciet meegenomen, omdat deze relevant zijn voor een ondernemer. Een kasdek met een lage transmissie zorgt in het algemeen voor minder productie, want 1% meer licht is ca. 1% meer productie bij deze teelten. Echter, in eerder onderzoek in de literatuur is vaak getracht om dezelfde licht transmissie in de diffuse en de heldere behandeling te hanteren. Om deze praktijkresultaten in relatie te kunnen brengen met de literatuur, wordt in de volgende paragraaf de LUE van de betreffende teelten uitgerekend en op dezelfde manier vergeleken.

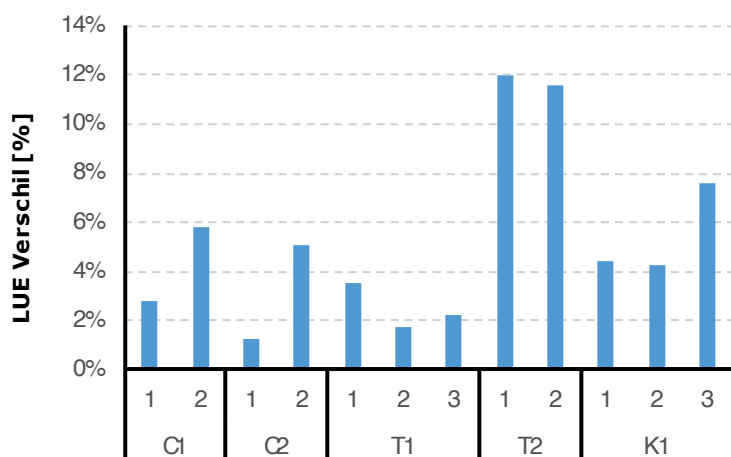
## 3.2 Light Use Efficiency

Voor alle teelten is de LUE uitgerekend voor de heldere en diffuse kas, zie de onderstaande grafiek. Voor de bedrijven K1 en T2 is de LUE bepaald aan de hand van de PAR metingen op gewasniveau en voor de overige bedrijven gebaseerd op de berekende hoeveelheid PAR op gewasniveau (zie sectie 2.2.1).



**Figuur 9** LUE voor alle teelten voor de heldere en de diffuse kas

In de bovenstaande grafiek wordt voor elke teelt per teler de berekende LUE van beide kassen getoond. De LUE van de komkommer teelten is duidelijk het hoogst, gevolgd door de tomaat en cherrytomaat omdat er naar versproductie wordt gekeken. Om de LUE verschillen duidelijker naar voren te laten komen is het procentuele LUE verschil tussen de diffuse en heldere kas weergegeven:



**Figuur 10** Verschil in LUE tussen de heldere en diffuse kas voor alle teelten.

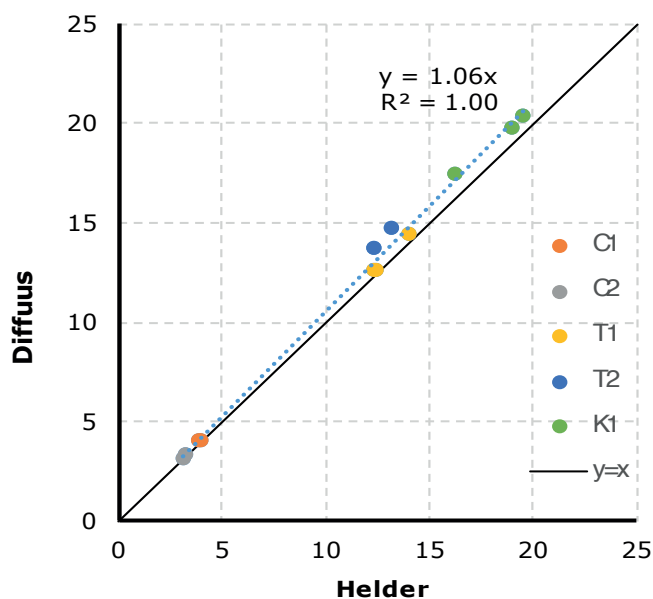
Uit Figuur 10 komt duidelijk naar voren dat de LUE voor T2 in de diffuse kas tijdens de 2 cycli bijna 12% hoger is. Het is ook opvallend dat de variatie in LUE tussen de teelten bij de overige bedrijven vrij groot zijn. Dit kan deels worden verklaard door een aantal gerapporteerde problemen tijdens de teelten, zie Tabel 2 van Bijlage 1. Alle LUE getallen zijn ook beschikbaar in Tabel 4.

Tabel 4

Samenvatting van LUE waardes voor alle teelten.

Teler	Teelt	LUE [g/mol]		LUE Verschil [%]
		Helder	Diffuus	
C1	1	4.06	4.17	2.8%
	2	3.89	4.12	5.8%
C2	1	3.14	3.18	1.3%
	2	3.27	3.44	5.1%
T1	1	14.01	14.51	3.6%
	2	12.42	12.63	1.7%
	3	12.37	12.64	2.2%
T2	1	13.23	14.82	12.0%
	2	12.35	13.77	11.6%
K1	1	19.03	19.86	4.4%
	2	19.59	20.42	4.2%
	3	16.27	17.50	7.6%

Om inzicht te krijgen in het gemiddelde LUE verschil is de LUE in de diffuse kas geplot tegen de LUE van de heldere kas, zie onderstaand Figuur:

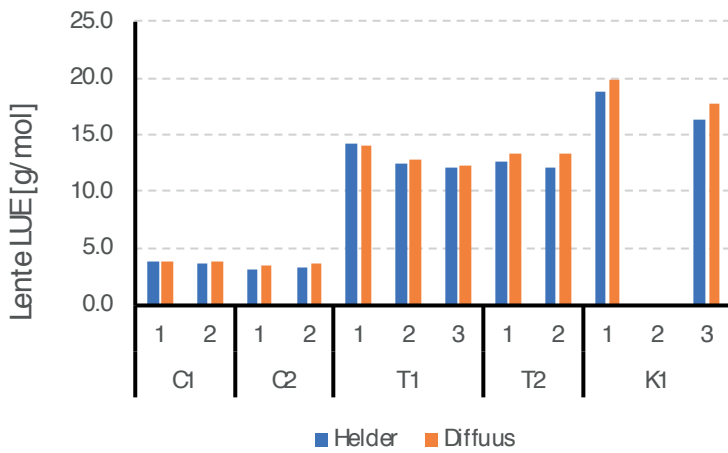


**Figuur 11** Light Use Efficiency (g/molPAR) in de diffuus kas vs. de heldere kas voor elke teelt van elke teler met  $x=y$  lijn (vast) en trendlijn (gestippeld).

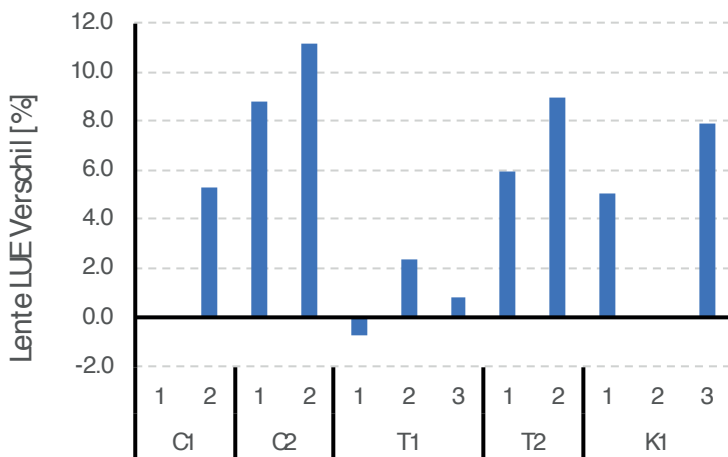
Uit het bovenstaande Figuur is af te leiden dat de LUE gemiddeld 6% hoger is in diffuse kassen t.o.v. heldere kassen.



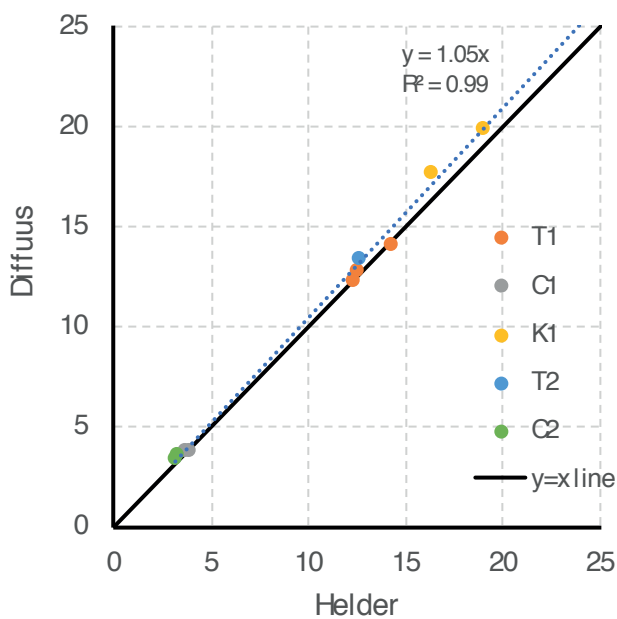
In de onderstaande Figuur is de LUE voor de maanden maart t/m juni geplot om te zien of de LUE deze maanden zich anders verhoudt t.o.v. de gehele teelt.



**Figuur 12** LUE voor alle teelten gedurende de lente.



**Figuur 13** Verschil in LUE tussen de heldere en diffuse kas voor alle teelten gedurende de lente.



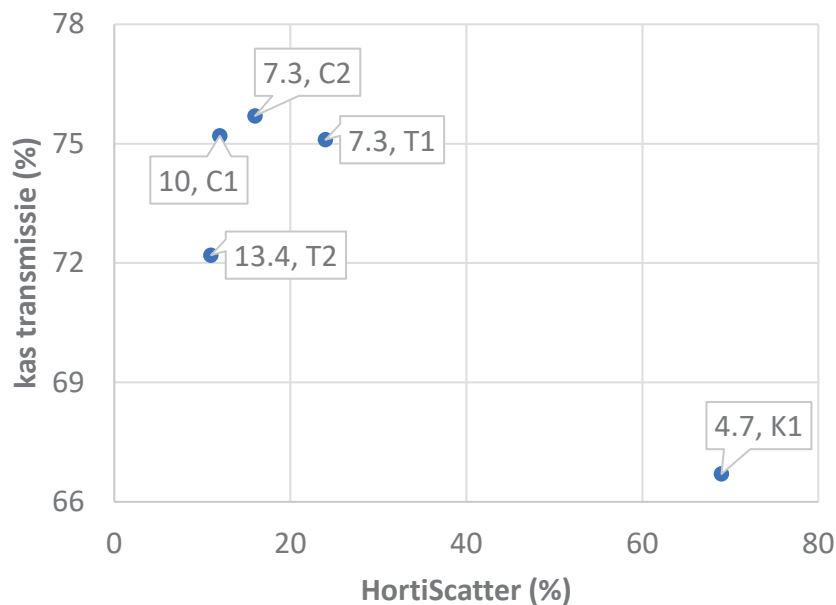
**Figuur 14** Light Use Efficiency (g/molPAR) in de diffuus kas vs de helder kas gedurende de lente, voor elke teelt van elke teler met  $x=y$  lijn (vast) en trendlijn (gestippeld).

De K1-2 is weggefallen omdat deze teelt niet in de lente plaats vond. Over het algemeen is er een minimaal verschil in effect van het diffuus glas in de lente vs de hele teelt.

Omdat niet elke teler hetzelfde type diffuus glas heeft worden in de volgende paragraaf de Hortiscatter metingen van het diffuse glas besproken.

### 3.2.1 Effect van Hortiscatter

Het is vrijwel onmogelijk het effect van HortiScatter alleen te bepalen, omdat deze meestal ook een effect heeft op de transmissie. Elke punt in onderstaande grafiek geeft de diffuse kas van elke teler weer, met de HortiScatter in de x-as en de transmissie van de kas (zie Tabel B1 in de bijlage) in de y-as. De getallen naast elke punt geven de relatieve toename in RUE, t.o.v. de heldere kas.



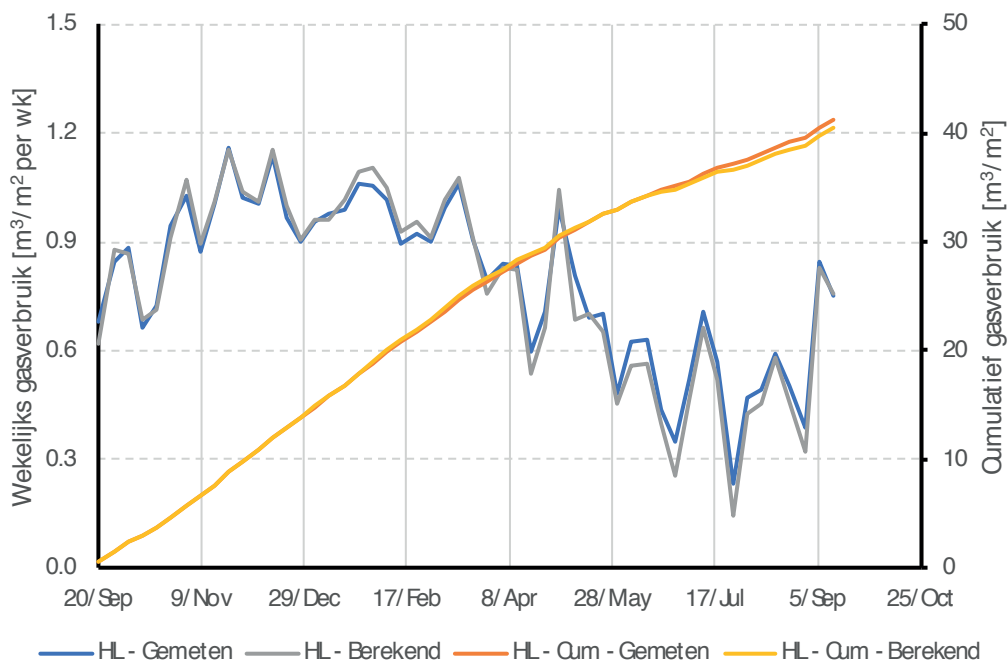
**Figuur 15** Analyse van het gezamenlijk effect van HortiScatter en transmissie op Radiation Use Efficiency. Elke punt geeft de diffuse kas van elke teler weer, met de HortiScatter in de x-as en de transmissie van de kas (zie Tabel B1 in de bijlage) in de y-as. De getallen zijn de relatieve toename in RUE, t.o.v. de heldere kas, gemiddelde voor alle teelten van elke deelnemer.

De bovenstaande grafiek laat zien dat er (te) weinig spreiding is in de Hortiscatter van het glas op de 5 bedrijven om een relatie te kunnen vaststellen tussen Hortiscatter en het verschil in LUE. Er kan dus niet worden aangetoond of een hoge Hortiscatter ook tot een hogere LUE leidt, omdat er simpelweg te weinig Hortiscatter data punten beschikbaar zijn: slechtst één bedrijf heeft een glas met een hoge Hortiscatter, en dan ook nog met een relatief grote afname in transmissie. Dus de vuistregel '10% meer Hortiscatter geeft 3% meer productie' kan op basis van de data uit dit onderzoek niet met zekerheid worden bevestigd, ondanks het feit dat, gemiddeld gezien, het ook zou kloppen voor deze set gegevens. In de toekomst zou het wenselijk zijn om meer praktijkdata volgens dezelfde methodiek te analyseren om meer datapunten te verkrijgen met voldoende spreiding en dit verband dan wel te kunnen leggen.

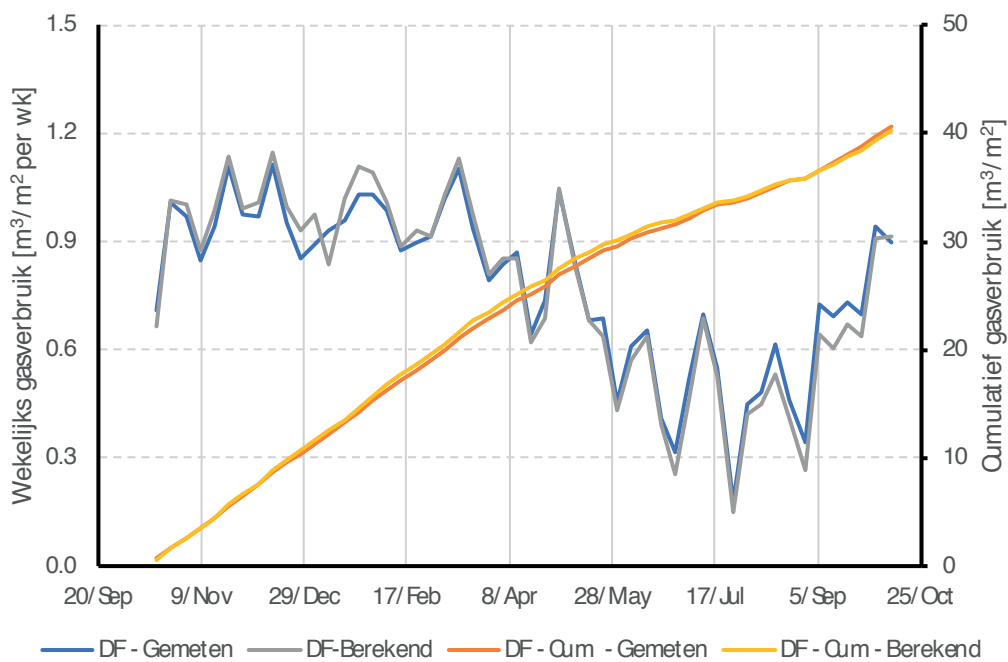
## 3.3 Energieverbruik

### 3.3.1 Validatie van het berekende verbruik

Figuur 16 en 17 laten het wekelijks berekende en gemeten gasverbruik van teler T1 gedurende de teelt van 2018 zien. De wekelijkse berekende waarden komen goed overeen met de gemeten waarden.

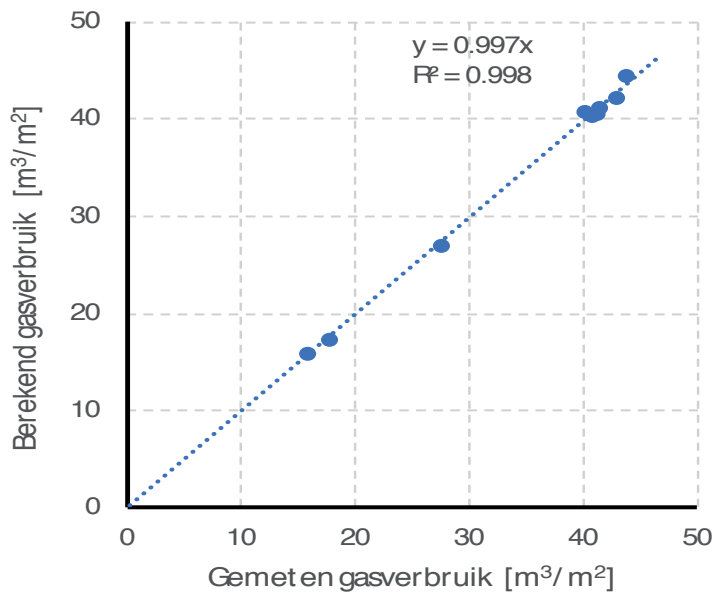


**Figuur 16** Wekelijks gasverbruik zoals gemeten en berekend voor de heldere (HL) kas van een teler in teelt 2018.



**Figuur 17** Wekelijks gasverbruik zoals gemeten en berekend voor de diffuse (DF) kas van het zelfde bedrijf en teelt zoals in Figuur 16.

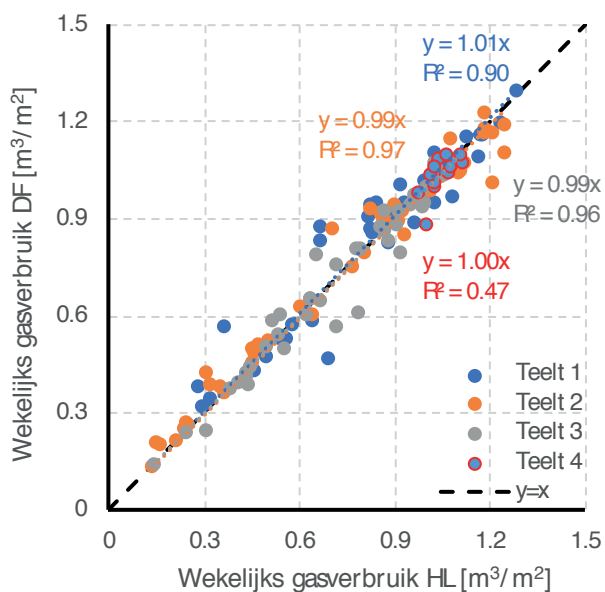
In Figuur 18 worden de gemeten en berekende gasverbruiktotaal weergegeven van de bedrijven waarvan het gasverbruik beschikbaar was. De rekenmethode geeft dus een betrouwbare inschatting van het wekelijks en het totale gasverbruik.



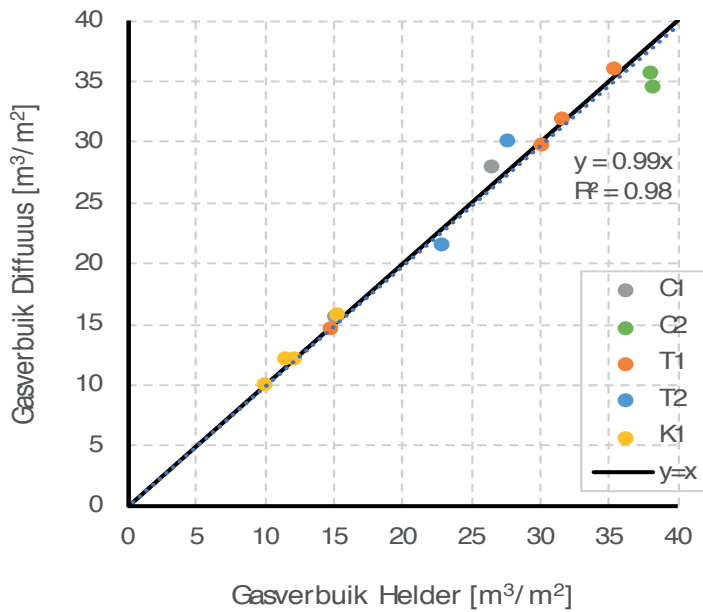
**Figuur 18** Totaal berekend gasverbruik op de y-as en het gemeten gasverbruik op de x-as voor alle teelten waarvan het gemeten gasverbruik beschikbaar was.

### 3.3.2 Is het energieverbruik echt anders?

Om een goede vergelijking tussen het energieverbruik in de diffuse en de heldere kas te kunnen maken is voor beide kassen van alle bedrijven het wekelijkse energieverbruik berekend. Aangezien de plantdata vaak niet gelijk waren, zijn de eerste weken van de teelt hier buiten beschouwing gelaten omdat een onvolgroeid gewas een ander klimaat nodig heeft en het klimaat anders beïnvloedt dan een volgroeid gewas, deze periode is dus niet representatief is voor het gemiddelde energieverbruik. Voor tomaat zijn daarom de eerste 8 weken buiten beschouwing gelaten voor komkommer waren dit de eerste 4 weken. Daarnaast zijn voor de berekeningen alleen periodes geselecteerd waar in zowel de diffuse als de heldere kas een (vol gegroeid) gewas stond. Figuur 19 laat het resultaat zien voor de vier teelten van teler T1. Elk punt geeft een week weer, met het gasverbruik in de heldere kas op de x-as en op de y-as het verbruik in het diffuse kas van diezelfde week. Bij alle vier teelten is  $y = x$  met een nauwkeurigheid van minder dan 1%.



**Figuur 19** Wekelijkse gasverbruik voor alle teelten van bedrijf T1.



**Figuur 20** Samenvatting van alle berekende gasverbruik totalen voor periodes waar in zowel in de heldere als in de diffuse kas een volgroeid gewas stond.

Dezelfde procedure werd herhaald voor alle teelten en bedrijven, en het totaal per teelt is weergegeven in Figuur 20. Uit dit figuur is af te leiden dat er geen verschil is tussen het gasverbruik in de heldere en de diffuse kassen, dus het gevoel dat een diffuus kasdek gepaard gaat met meer energieverbruik rust niet op feiten. Er zijn een aantal punten in de grafiek die van de trendlijn afwijken maar in sommige gevallen is dit ten voordele van de diffuse kas en in sommige gevallen juist in voordeel van de heldere kas. De grote range in "totaal" gasverbruik per teelt is te verklaren omdat de bedrijven verschillende gewassen hebben en ook door onze selectieprocedure: het gasverbruik is slechts bepaald voor de perioden waarbij in beide kassen een volgroeid gewas stond. Daarnaast kennen de beschouwde komkommerteelten een teeltduur van een kleine 6 maanden. Het totale gasverbruik wordt gegeven als additionele informatie in Tabel 5.

Tabel 5

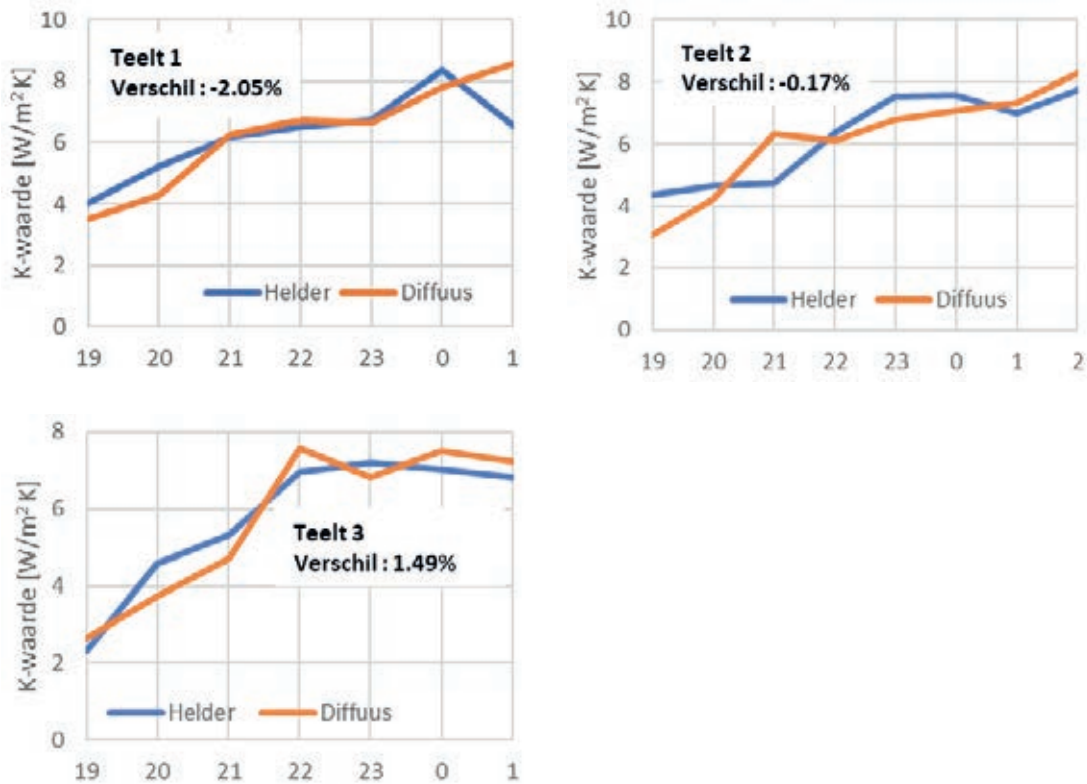
Gasverbruik totalen (gehele teeltcyclus) en gecorrigeerd gasverbruik (alleen de periode waarin in beide kassen een volgroeid gewas stond, de eerste weken met een jong gewas zijn dus buiten beschouwing gelaten).

Teler	Teelt	Totaal		Gecorrigeerd	
		Helder	Diffuus	Helder	Diffuus
C1	1	35.0	37.6	26.4	27.9
	2	21.5	23.0	15.0	15.6
C2	1	49.0	41.3	38.0	34.5
	2	45.9	50.2	37.9	35.7
T1	1	40.7	44.4	35.3	36.0
	2	41.2	42.1	31.5	31.9
	3	40.4	40.3	29.9	29.8
	4	24.7	21.2	14.6	14.5
T2	1	28.0	30.1	27.5	30.1
	2	22.8	21.5	22.8	21.5
K1	1	22.2	19.0	15.2	15.7
	2	16.4	16.9	9.9	9.9
	3	17.3	15.8	12.0	12.1

### 3.3.3 Is de k-waarde anders?

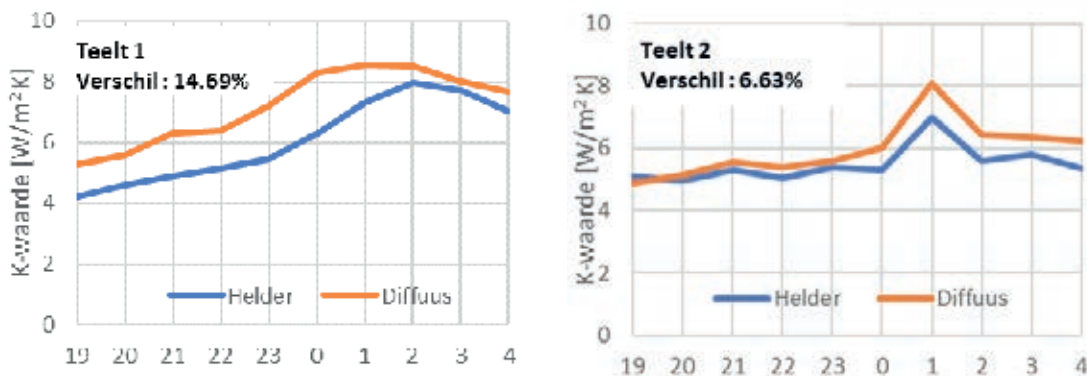
Bij de meeste deelnemende bedrijven zijn er te veel verschillen tussen de diffuse en de heldere kas om te kunnen stellen dat het ontbreken van verschil in energiegebruik het gevolg moet zijn van een gelijke k-waarde van de twee typen kasdek. Voor 2 bedrijven zijn de heldere en diffuse kas zo goed als identiek, dus een vergelijking van de k-waarden is dan mogelijk. Van deze bedrijven zijn 4 teeltcycli beschikbaar en hiervoor is de k-waarde uitgerekend. Gedurende de dag komt er behalve energie van de buizen ook zonenergie binnen, daarom is enkel naar de k-waarde gedurende de nacht gekeken. Verder beïnvloeden het scherm, eventuele verlichting en de raamstand ook de energieoverdracht. De k-waarde is daarom alleen berekend wanneer schermen en ramen dicht zijn en de verlichting uit is.





**Figuur 21** Cyclisch gemiddelde van de k-waardes van bedrijf T1 met identieke kassen, op glastype na, voor teelt 2017 tot 2019. De punten zijn de gemiddelde k-waardes voor elk uur tussen 19:00 en 01:00 (x-as) met gesloten scherm en raam, zonder belichting en in de periode januari-april.

Figuur 21 laat zien dat er voor teler T1 geen constant verschil is tussen de verschillende teelten waaruit duidelijk valt te stellen dat de k-waarde van beide kassen vrijwel gelijk is. Dit komt ook overeen met het beeld wat al eerder geschetst werd bij het totale gasverbruik.

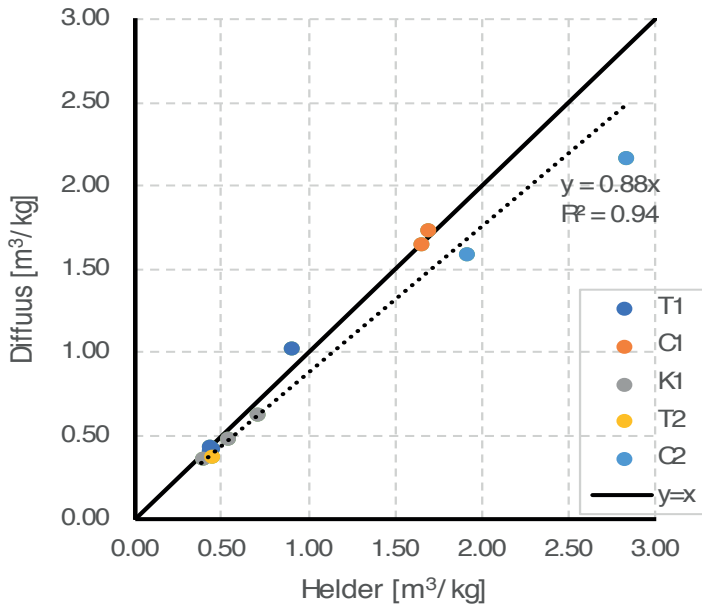


**Figuur 22** Cyclisch gemiddelde van de k-waardes van teler C1 met identieke kassen, op glastype na, voor teelt 2018 tot 2019. De punten zijn de gemiddelde k-waardes voor elk uur tussen 19:00 en 04:00 (x-as) met gesloten scherm en raam, zonder belichting en in de periode januari-april.

Voor teler C1 zien we echter wel een (klein) verschil tussen de K-waarde van de heldere en de diffuse kas. Er wordt bij deze teler in de diffuse kas ook iets meer energie gebruikt. Dit kan deels verklaard worden doordat er een hogere temperatuur wordt aangehouden in de diffuse kas. De hogere k-waarde wijst er op dat een deel van het hogere energiegebruik ook (deels) verklaard kan worden door een (iets) hoger energieverlies in de diffuse kas door het kasdek.

### 3.3.4 Energie efficiëntie

Tot nu toe is er alleen gekeken naar het totale energieverbruik per vierkante meter, in dit gedeelte kijken we naar het energieverbruik per kilo product. De energie-efficiëntie in de diffuse kassen is gemiddeld 12% hoger t.o.v. de heldere kassen. Dit is niet verassend omdat alle diffuse kassen die in dit onderzoek werden meegenomen ook een hogere transmissie hadden. Er komt in deze kassen dus meer zonlicht, gratis energie, binnen.



**Figuur 23** Energieverbruik (warmte) per kilo product voor alle bedrijven.

## 4 Discussie

Voor de meeste gewassen geldt dat de keuze voor het juiste glastype van meer factoren af hangt dan zuiver kg productie. Bij siergewassen is kwaliteit een belangrijker maatstaf dan kwantiteit. Omdat er echter geen geschikte bedrijven met siergewassen konden worden gevonden met paren van vergelijkbare heldere en diffuse kassen geschikt voor dit project, moet deze discussie beperkt blijven tot vruchtgroenten.

Aangezien lichtverstrooiing, vooral bij een hoge Hortiscatter, samengaat met enige verlies van lichttransmissie (Hemming *et al.* 2014 en Figuur 15), wordt in het onderzoek naar de effecten van diffuus licht hier tijdens de proefopzet rekening mee gehouden door bijvoorbeeld antireflectie (AR) coating aan te brengen op het diffuse glas om zo een gelijke lichttransmissie te bereiken en puur het effect van diffusiviteit te kunnen onderzoeken. In de praktijk is diffuus glas vaak voorzien van een AR behandeling op één, dan wel beide oppervlakten, om lichtverlies te beperken. Dat was ook het geval voor de vier (uit vijf) bedrijven in deze studie waarvan de diffuse kas een hogere transmissie had dan de heldere.

### 4.1 Effect van transmissie

Om het effect van de AR behandeling afzonderlijk te bepalen, zijn precies dezelfde analyses uitgevoerd zoals beschreven in dit rapport, bij een aardbei bedrijf met een heldere kas en een heldere kas met AR coating ("superhelder"). In beide kassen werd twee jaren in Augustus geplant en in de najaar en volgende voorjaar geoogst. De teler had lichtmeters in beide kassen, die zijn gebruikt om de totale transmissie van de kassen te bepalen, zoals omschreven in §2.2.1. Een samenvatting van alle relevante gegevens is in Tabel 6 gegeven.

Tabel 6

Overzicht van eigenschappen van de kassen en van de teelten van het aardbei bedrijf.

kas:	Helder			SuperHelder		
Glas transmissie						
Loodrecht	89.9			95.3		
Hemisferische	82.4			87.4		
Kas transmissie	75.1			79.2		
	Start week	Teelt lengte	Oogst (kg)	Start week	Teelt lengte	Oogst (kg)
Teelt 1	32	46	5,23 12,02	33	45	5,47 12,40
Teelt 2	32	46	5,32 11,68	33	46	5,60 12,37

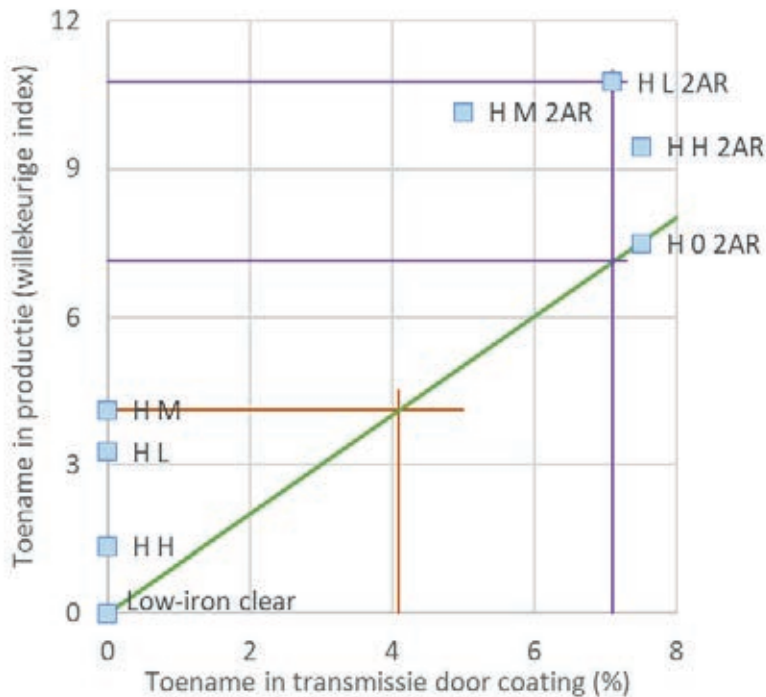
Gemiddeld was de RUE in de superhelder kas 4.6 % hoger dan in de andere, wat precies overheen komt met de verschil in lichttransmissie tussen de twee kassen. Verdere aanwijzing dat het verschil in productie volledig toe te schrijven is aan het verschil in beschikbare licht, is dat de LUE in alle gevallen vrijwel gelijk is aan 3.6 g/mol, gemeten op gewashoogte. Dus benut het gewas met onverminderde efficiëntie het additionele licht dat wordt binnengelaten. Nog eens een bevestiging van het vuistregel 1% meer licht geeft 1% meer productie voor deze teelt.

Gemiddeld hadden de diffuse kassen in deze studie een 3% hogere transmissie (zie bijlage 1) dat, gecombineerd met het diffuus effect (gemiddeld 6% efficiënter gebruik van beschikbare licht), zou resulteren in ongeveer 9% efficiënter omgaan met zonlicht, wat heel dichtbij komt aan de waarde van 8% zoals in dit rapport is bepaald.

## 4.2 Wat is wijs?

De uiteindelijke keuze van een teler over de juiste investering voor een nieuwe kasdek hangt af van vele factoren, waarvan de meeste geen onderwerp zijn van dit rapport. Niet te min, de afweging tussen transmissie en diffusiviteit is een logische vraag aan het einde van deze studie. Helaas, is geen algemeen richtlijn te geven, omdat zo'n afweging rekening moet houden met kosten (van een of andere verbeterde eigenschap) en baten in termen van extra productie. Daarnaast, er komen steeds betere materialen op de markt, waardoor algemene richtlijnen onmogelijk zijn.

In het grafiek hieronder laten we een voorbeeld zien van hoe men een afweging zou kunnen maken.



**Figuur 24** Voorbeeld van afweging van het effect van toename in transmissie (x-as) en effect van diffusiviteit (y-as). Referentie is "low-iron clear (wit-gas)" (0,0). De punten zijn een willekeurige selectie van materialen nu in de markt. H is HortiScatter and L, M en H betekenen respectievelijk low, mid en hoog. AR is AntiReflectie coating en 2 betekent op beide glasoppervlakten. De groene lijn geeft de 1% = 1% regel weer. Om de index in de y-as te bepalen is aangenomen dat de toename door het diffuus effect is 4, 6 en 8% respectievelijk, voor L, M en H HortiScatter. De dunne lijnen worden in de tekst uitgelegd.

Bijvoorbeeld: Het monsters in het grafiek HM zonder coating zou ongeveer het zelfde presteren als een heldere glas met een coating die de transmissie met 4% verhoogt (de rode dunne lijnen). De keuze tussen de twee zou dan slechtst afhankelijk zijn van de prijsverhouding. De paarse lijnen laten een andere voorbeeld zien: het voordeel van diffuus (in dit geval H L) boven op dubbel AR.

Natuurlijk zijn er zijn ook andere afwegingen van belang, bijvoorbeeld levensduur en bestendigheid voor wassen van behandelingen zoals coating. Daarnaast, gezien de beperkingen van deze studie, moeten we wel beseffen dat deze type redenering alleen voor vruchtgewassen is geoorloofd, waarbij de link tussen kilogrammen en waarde heel eenduidig is. We betreuren het gebrek aan de mogelijkheid voor een dergelijke studie bij andere gewassen.

## 5 Conclusie

Omdat er een beperkt groep bedrijven werd gevonden met vergelijkbare heldere en diffuse kassen welke geschikt waren voor de vergelijking in dit project, zijn onze conclusies beperkt tot glasgroente.

In de praktijk is bevestigd dat onder diffuus glas het licht efficiënter wordt benut dan onder helder glas. De efficiëntie van de benutting van beschikbaar licht op gewashoogte (LUE) is gemiddeld over alle kassen en teelten 6% hoger in de diffuse kassen t.o.v. de heldere kassen. Om deze winst in lichtefficiëntie t.o.v. helder glas in meer kilogrammen te vertalen, zou men een gelijke transmissie van het kasdek in beide gevallen moeten hebben. Omdat dit in de praktijk vaak niet het geval is, werd ook de efficiëntie van het gebruik van zonlicht (RUE) uitgerekend. De RUE was gemiddeld 8% hoger in de diffuse kassen, dus in andere woorden: per MJ globale straling worden er 8% meer kilogrammen geproduceerd in de diffuse kassen t.o.v. heldere kassen. Het feit dat de RUE hoger is dan de LUE is het gevolg van de gemiddeld 3% hogere transmissie van de diffuse kassen vergeleken met de [meestal oudere] heldere kassen in het onderzoek. Dus in de praktijk zou men een vuistregel kunnen gebruiken gebaseerd op effect op lichttransmissie: × 6% hogere productie door het effect van diffuus licht.

Het gevoel van veel bedrijven dat er onder diffuus glas meer gestookt moet worden berust niet op feiten. Bij de deelnemende bedrijven in dit project verschilde het energieverbruik tussen de diffuse en de helder kas, als er voor omstandigheden zoals plantdatum gecorrigeerd werd, gemiddeld genomen niet. Door de hogere productie en de hoger lichtwinst, was de energie-efficiëntie in de diffuse kassen gemiddeld 12% hoger t.o.v. de heldere kassen.

Binnen dit onderzoek is een methodiek uitgewerkt om de data van praktijkbedrijven met elkaar te kunnen vergelijken ondanks de problematiek dat bedrijven, kassen op bedrijven en teelten in de kassen nooit helemaal hetzelfde zijn zoals dat in een onderzoekskas het geval zou zijn. Deze methodiek zou in de toekomst gebruikt kunnen worden om data van praktijkbedrijven op een geanonimiseerde en gestandaardiseerde wijze te analyseren.





# Literatuur

Dueck, T. A., Janse, J., Kempkes, F. L. K., Li, T., Elings, A. & Hemming, S., 2012.

Diffuus licht bij tomaat. Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw. 60 p. (Rapporten GTB; no. 1158)

Garcia Victoria, N. and Kempkes, F. L. K., 2012.

Rapport: Diffuus licht bij roos. Web publication/site, Productschap Tuinbouw/MinEL&I. <http://www.energiek2020.nu/onderzoeken/detail/rapport-diffuus-licht-bij-roos/>

Hemming, S., van Noort, F. R., Hemming, J. & Dueck, T. A., 2007.

Effecten van diffuus licht bij potplanten: resultaten van een teeltexperiment. Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw. 50 p. (Nota / Wageningen UR, Glastuinbouw; no. 454)

Hemming, S., V. Mohammadkhani and J. Van Ruijven, 2014.

Material technology of diffuse greenhouse covering materials – influence on light transmission, light scattering and light spectrum. *Acta Horticulturae* 1037: 883-895.

Li, T., E. Heuvelink, T.A. Dueck, J. Janse, G. Gort and L.F.M. Marcelis, 2014.

Enhancement of crop photosynthesis by diffuse light: quantifying the contributing factors. *Annals of Botany* 114(1): 145-156

Nawrocki, K. R., & van der Velden, N. J. A., 1991.

Gebruiksrendementen aardgasgestookte ketels in de glastuinbouw: gissen is missen, meten is (z)weten (No. 91-55). DLO-Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen.



# Bijlage 1 Additionele gegevens

Tabel B1

Het lichtverlies per constructie element voor elke teler.

Teler:	T1		C1		K1		T2		C2	
	helder	diffuus	helder	diffuus	helder	diffuus	helder	diffuus	helder	diffuus
Kapbreedte (m)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vakmaat (m)	5	5	5	5	4.5	4.5	4.5	5	5	5
Glasmaat (m)	1.67	1.67	1.67	1.67	1.125	1.5	1.125	1.67	1.67	1.67
τ kasdekconstructie	0.937	0.937	0.937	0.937	0.9325	0.937	0.916	0.937	0.937	0.937
2-ruits luchting toeslag	0	0	0	0	0.0065	0	0.0065	0	0	0
Tralie	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
Scherf 1	0.025	0.025	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Scherf 2	0	0	0.018	0.02	0	0	0	0	0	0
Lampen	0.016	0.016	0	0	0	0	0	0	0.016	0.016
Glas	0.16	0.12	0.1613	0.12	0.183	0.225	0.16	0.17	0.16	0.119
<b>τ gewasniveau</b>	<b>0.711</b>	<b>0.751</b>	<b>0.713</b>	<b>0.752</b>	<b>0.698</b>	<b>0.667</b>	<b>0.705</b>	<b>0.722</b>	<b>0.716</b>	<b>0.757</b>

Tabel B2

Gerapporteerde problemen tijdens de teelten.

Helder		Diffuus
T1-1	Last van botrytis	-
T1-2	Veel TOCV problemen, botrytis problemen vanaf teeltweek 8	Veel botritus
T1-3	5% van de planten had last van citrobacter. Veel botrytis	1% van de planten had last van citrobacter
K1-2	-	Vanaf augustus problemen met potyvirus. De oogst van de laatste 3 weken is hierdoor iets minder
T2-1	Pythium in 5-10% van de matten. Totaal heeft dit voor een productieverlies gezorgd van ca. 1-2 kg/m <sup>2</sup>	Veel uitval in de laatste 8 weken van de teelt. Waarschijnlijk resulteerde dit in 10% productieverlies.



## Bijlage 2 Artikelen in vakliteratuur

Tekst en beeld: Marjolein van Woerikom

### DIFFUSITEIT ONDERZOEK

## Nieuw onderzoek moet gebruik stimuleren

# Diffuus glas nog geen gemeengoed ondanks bewijs productieverhoging



Geert Franken (links): "Alleen kijken naar het aantal kilo's is natuurlijk geen eerlijk resultaat."

**Dat diffuus glas bijdraagt aan een hogere productie was al langer bekend, toch wordt het nog niet breed toegepast. Daarom zijn onderzoekers van Wageningen University & Research vorig jaar gestart met de praktijkproef: 'Diffuus glas, maak het helder'. Dat moet nieuwe argumenten opleveren om telers te overtuigen.**

Telers kiezen helemaal niet voor diffuus glas in hun kas, of maar voor een beperkt deel of ze kiezen voor helder glas met AR-coating. Volledig diffuus glas komt vooralsnog weinig voor, terwijl bewezen is dat diffuus glas de productie verhoogt.

**Hogere productie**

Diffuus glas is nog geen gemeengoed. Waarom? "Dat vroegen wij ons ook af", zegt Frank Kempkes, onderzoeker aan de Wageningen University & Research. "De afgelopen vijf tot tien jaar hebben we proeven gedaan, waaruit blijkt dat diffuus glas de productie en kwaliteit verhoogt. Zo geldt voor tomatentelers de vuistregel: '10 procent meer Hortiscatter, de mate van lichtverstrooiing, zorgt voor 3 procent meer productie'. Dus hoe diffuser het glas, hoe hoger de productie, zolang de hemisferische lichttransmissie gelijk blijft. Bij potplanten zagen we zelfs dat dankzij het diffuse licht een hogere lichtintensiteit kan worden aangehouden, die zorgde voor een versnelling van de teelt."

Toch is dit resultaat nauwelijks overgenomen door de praktijk. "Waar dat aan ligt, weten we niet", zegt Kempkes. "Maar het was voor ons wel de reden om ons meer in dit onderwerp te verdiepen en te kijken of we er meer uit konden halen."

Met het project 'Diffuus glas, maak het eens helder' willen de onderzoekers achterhalen wat het effect is van diffusiteit in de praktijk. Wat gebeurt er als in een kas geen gewoon glas wordt gebruikt, maar diffuus glas? Zorgt dat voor een nóg hogere productie, en voor een verhoging van de energie-efficiëntie? De onderzoeker: "We willen voor eens en voor altijd zeker weten wat de effecten zijn van diffuus glas op productie en energieverbruik."

**Meetsensoren boven het gewas**

Vorig najaar startte Kempkes samen met collega Geert Franken een onderzoek bij acht telers van verschillende gewassen, zoals tomaat, komkommer en aardbei. De telers gebruiken zowel normaal als diffuus glas. Daardoor is het maken van vergelijkingen mogelijk.

"We hebben in elke kas een set lichtsensoren opgehangen", vertelt Franken. "Net boven de tralie, net onder het kasdek, hangen twee lichtsensoren. Een derde is bevestigd op een meterslange staaf aan de kolom, zodat deze net boven het gewas hangt. De lichtsensoren zijn gekoppeld aan een datalogger met simkaart. Elke vijf minuten wordt de lichtintensiteit gemeten. Aan het einde van de dag krijgen wij hier op onze computer in Wageningen alle metingen door."

38 > ONDER GLAS NR 12 DECEMBER 2019



Daarnaast analyseren de onderzoekers de klimaatgegevens en productiecijfers van de deelnemende teeltbedrijven. "De telers sturen ons hun oogstdata en klimaatdata, waardoor we nog nauwkeuriger conclusies kunnen trekken. Ook gaan we met onze bevindingen terug naar de teler om zijn visie erop te horen. Het kan natuurlijk zomaar zijn dat er een ziekte in die ene kas is uitgebroken en dat de productie in die kas daarom lager was. Met behulp van die feedback kunnen we onze resultaten nog realistischer weergeven. Alleen kijken naar het aantal kilo's is natuurlijk geen eelrijk resultaat."

### Vertraging door virus

Die data-analyse gaat niet zonder slag of stoot, merkt Franken op. "De ene teler doet aan padregistratie en de ander noteert zijn opbrengsten op een sigarenkistje, bij wijze van spreken. Ze werken bovendien allemaal weer met andere klimaatcomputers, dus we krijgen een enorme variatie aan informatie aangeleverd, die we allemaal moeten stroomlijnen. Dat is nu wel gelukt, maar daardoor liepen we in de opstartfase aanzienlijke vertraging op."

Een ander vertragende factor was de uitbraak van het tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV). "Hierdoor hebben we onze strategie moeten wijzigen", legt Kempkes uit. "Zo hadden we in eerste instantie bedacht dat we de setjes lichtsenoren zouden rouleren onder de bedrijven. Enkele maanden hier meten en dan weer enkele maanden daar, maar door dat virus moesten we besluiten de meetapparatuur niet te verplaatsen."

Het positieve daarvan was wel dat de onderzoekers nu jaarrond kunnen meten in een kas en ook de invloed van het veranderende jaargetijde – dus de zonnestand op de lichthoeveelheden in de kas en productie – kunnen meten.

### Variabelen filteren

Een andere moeilijkheid is de aanwezigheid van heel veel variabelen. De ene kas is de ander niet. In hoeverre kan je dan aantonen dat de diffusiteit verantwoordelijk is voor een hogere productie? "Daar loop je tegenaan als je onderzoek doet in de praktijk", beaamt Kempkes. "Er zijn meer variabelen. Een teler heeft in de ene kas met helder glas misschien tomaten hangen en in de ander met diffuus glas losse tomaten. De plantdatum kan verschillen, het ras kan verschillen, het kasklimaat kan anders zijn en is dat bewast of is dat het gevolg van de kas? Misschien is het in de ene kas jaarrond met 2 graden warmer dan in de andere kas."

Daarnaast speelt de leeftijd van het glas een rol. Is het glas in de loop van de tijd meer of minder transparant geworden, waarbij eventueel ook vervuiling een rol kan spelen. Diffuus glas is vaak nieuwer en de glaskwaliteit



Frank Kempkes: "Hoewel in de praktijk vaak wordt gezegd dat diffuus glas voor een hoger energieverbruik zorgt, blijkt dat niet uit onderzoeksresultaten."

is soms zelfs beter dan die van de referentiekas met helder glas. Dan kan er in de diffuse kas bijvoorbeeld zo maar 5 of 10 procent meer licht binnen komen. Wat doet dat met de hemisferische licht transmissie?

### Light use efficiency

"We proberen de variabelen te filteren. Wat kunnen we waar aan toeschrijven? Zo laten we van diverse kassen een glasmonster nemen afhankelijk van hoe recent er nog een meetrapport van het glas voor handen is. Die glasplaten worden dan doorgemeten in het WUR light-lab."

Om de problemen met variabelen verder te ondervangen, besloten de onderzoekers te werken met light use efficiency als eenheid. Franken: "Dit drukt de hoeveelheid mol licht uit per kg product. De hoeveelheid mol die we meten, delen we door het aantal kilo's tomaat, komkommer of aardbei in de betreffende kas. Daaruit komt een cijfer, waardoor we twee kassen met elkaar kunnen vergelijken."

Daarnaast passen de onderzoekers correcties toe. Kempkes: "Uit wetenschappelijke literatuur weten we bijvoorbeeld dat 100 ppm CO<sub>2</sub> meer in de kas, een bepaald effect heeft op de productie. Met zulke vuistregels kunnen we correcties toepassen, waardoor de diffusiteit van het glas de enige variabele is, die overblijft."

### Geen harde conclusies

Vanwege de vertraging, kunnen de onderzoekers nog geen harde conclusies trekken. Najaar 2020 verwachten ze dat wel te kunnen. "Vooralsnog hebben we een duidelijk vermoeden dat diffuus glas de productie verhoogt", zegt Franken. "Die vuistregel voor tomatentelers: 10 procent meer Hortiscatter zorgt voor 3 pro-

cent meer productie' lijkt te gaan kloppen."

Wat betreft het energieverbruik, kunnen Franken en Kempkes wel het nodige uit de doeken doen: "We zien tot nu toe geen significante verschillen in energieverbruik. Hoewel in de praktijk vaak wordt gezegd en ervaren dat diffuus glas voor een hoger energieverbruik zorgt, kunnen wij dat niet significant aantonen in onze resultaten."

Daar zal de financier van het project, Kas als Energiebron, in ieder geval blij mee zijn. En de teler waarschijnlijk ook. "De investering in diffuus glas is nu eenmaal groter dan in helder glas. Dus wanneer het energieverbruik gelijk blijft en de productie gast wellicht omhoog, dan is die investering eerder terugverdiend."

## Samenvatting

Onderzoekers van Wageningen University & Research willen voor eens en voor altijd zeker weten wat de effecten zijn van diffuus glas op productie en energieverbruik. Vandaar dat ze wederom een onderzoek zijn gestart op acht teeltbedrijven. Hoewel er door vertraging nog geen harde conclusies te trekken zijn, lijkt de vuistregel voor tomatentelers: "10 procent meer Hortiscatter zorgt voor 3 procent meer productie" te gaan kloppen. Daarnaast zien ze geen significante verschillen in energieverbruik, waardoor de investering in diffuus glas wellicht sneller terug te verdienen is dan gedacht.



Tekst: Jan van Staalduinen  
Beeld: Wageningen University & Research en Jan van Staalduinen

## DIFFUUS GLAS ONDERZOEK

Vraag om vuistregel over relatie hortiscatter en opbrengstverhoging

# Metingen in praktijk brengen helderheid in diffuus glas



Onderzoekers proberen de verschillen in productie en energieverbruik vast te stellen van kassen met en zonder diffuus glas.

**Diffuus glas geeft een betere verticale en horizontale lichtverdeling in de kas en draagt bij aan het voorkomen van warmtestress in de kop van het gewas. Hierdoor kunnen planten beter presteren. Vanwege het zeer gevarieerde aanbod is er een vuistregel nodig die het kiezen eenvoudiger maakt. Het project 'Diffuus glas, maak het eens helder' moet daar verandering in brengen.**

Het ene glas is het andere niet. Voor diffuus glas geldt dat in nog sterkere mate dan voor conventioneel helder tuintbouwglas. Diffuse glassoorten verschillen niet alleen qua transmissie, maar ook in de manier waarop en de mate waarin ze het zonlicht verstrooien. Om telers meer inzicht te bieden in de lichtverstrooiende eigenschappen van glas, is enkele jaren geleden het begrip 'hortiscatter' geïntroduceerd als opvolger van het begrip 'hazefac-

tor'. Hoe hoger de hortiscatter, des te hoger en homogener de lichtverstrooiing.

### Vuistregel vinden

"Hortiscatter zegt meer over de kwaliteit van lichtverstrooiing en verdient daardoor de voorkeur, Haze maakt alleen duidelijk hoeveel van het invallende licht meer dan 2,5 graden is afgebogen", zegt Geert Franken van Wageningen University & Research. Samen met collega Martine Brunsting onderzoekt hij in de praktijk de relatie tussen hortiscatter en productiestijging. Op basis van lichtmetingen, productie- en klimaatgegevens die op bedrijven worden verzameld, pogen de onderzoekers hiervoor een vuistregel te destilleren.

"Voor lichtminnende gewassen en helder glas is ooit vastgesteld dat 1% meer lichttransmissie 1% extra productie oplevert", vult Brunsting aan. "Als we ook een dergelijk verband kunnen vaststellen tussen hortiscat-

ter en productie, zou dat telers meer bouwvast geven bij de keuze van hun kasdek. Dat een toenemende hortiscatter gepaard gaat met een afnemende transmissie is bekend, maar waar ligt nu de balans tussen potentiële productieverhoging door minder licht en productiestijging ten gevolge van diffusiteit? Deze vraag keert altijd terug als we met telers over diffuus glas spreken."

### Appels met appels vergelijken

Een voorwaarde om zo'n relatie te kunnen vaststellen, is dat je appels met appels vergelijkt. Daarvoor dienen de metingen plaats te vinden op bedrijven waarin het kasdek (transparant versus diffuus) de enige variabele is. Wanneer meerdere van dergelijke bedrijven deelnemen, bij voorkeur met dezelfde of goed vergelijkbare gewassen en rassen, maar verschillende soorten diffuus glas, wordt het mogelijk om patronen te ontwaren en relaties te leggen.

Franken: "Stel dat je op drie bedrijven kunt meten met dezelfde teelt. Op bedrijf A stellen we vervolgens vast dat diffuus glas met 10% hortiscatter x% productieverhoging geeft ten opzichte van de afdeling met transparant glas. Bedrijf B produceert y% meer in de afdeling met 30% hortiscatter en bedrijf C realiseert onder 70% hortiscatter z% meeropbrengst. Dan is het niet heel ingewikkeld om een patroon te ontdekken als dat er is. We vergelijken dan ook niet de deelnemende bedrijven maar de twee kassen op ieder bedrijf afzonderlijk."

### Geschikte bedrijven dun gezaaid

Het viel niet mee om bedrijven te vinden met kassen of afdelingen waarin het kasdek (vrijwel) de enige variabele is. Vrijwel altijd zijn er situaties of invloeden die in meer of mindere mate verstrooend werken, zoals uiteenlopende kastypen of afdelingen met verschillen in de geteelde rassen of plantdata. Desondanks is het de onderzoekers gelukt om negen geschikte bedrijven te vinden die aan het onderzoek willen meewerken: vijf tomatenkwekerijen, drie komkommerbedrijven en één aardbeienproducent. "Dit laatste bedrijf heeft weliswaar geen diffuus glas,

maar wel afdelingen die alleen qua dek van elkaar verschillen", zegt Brunsting. "Daar ligt namelijk zowel gewoon transparant als super helder glas op de kas. Ook dat kan waardevolle informatie opleveren."

### Productie en light use efficiency

Twee van de negen bedrijven beschikken over zeer goed vergelijkbare kassen, bij de overige zijn er meer variabelen in het spel. Hiervoor proberen de onderzoekers de verkregen data zoveel mogelijk te corrigeren. De lichteigenschappen van (monsters van) de betrokken glassoorten zijn eerst objectief vastgesteld in het lichtlab in Wageningen. Om hun eventuele invloed op de productiecijfers te kunnen duiden, vertalen de onderzoekers de praktijkdata naar het kengetal 'light use efficiency'. Deze parameter geeft weer hoeveel oogstbaar product er per mol licht wordt gevormd in de transparante en diffuse afdelingen van individuele bedrijven.

"Ondank de beperkte steekproefomvang en de ruis door overige variabelen, zien we een duidelijke correlatie tussen diffusiteit en meetopbrengst", zegt Franken na anderhalf jaar meten en rekenen. "De light use efficiency in de diffuse kas meer gestookt moet worden, omdat gewas, vloer en kasdelen in mindere mate worden verwarmd door rechtstreeks invallend zonlicht. "Onder diffuus of gekrijt glas voelt het op zonnige dagen inderdaad koeler aan, dus die gedachte is goed te verklaren", stelt Brunsting vast.

"Of het energieverbruik ook daadwerkelijk hoger uitvalt, was tot nu toe nooit specifiek onderzocht. Wij hebben nu kunnen vaststellen dat de telers in diffuse kassen een iets hogere temperatuur aanhouden, wat resulteert in een fractioneel hoger energieverbruik per m<sup>2</sup>. Of het energieverbruik onder diffuus



Martine Brunsting en Geert Franken hebben de lichteigenschappen van de toegepaste glassoorten objectief vastgesteld.

de toegepaste diffuse glassoorten moeten deelnemen. Het begin is echter gemaakt en dat is bemoedigend.

### Hoger energieverbruik

Een tweede onderzoeksvraag is de invloed van diffuus glas op het energieverbruik van een teelt. Veel telers stellen dat er in een diffuse kas meer gestookt moet worden, omdat gewas, vloer en kasdelen in mindere mate worden verwarmd door rechtstreeks invallend zonlicht. "Onder diffuus of gekrijt glas voelt het op zonnige dagen inderdaad koeler aan, dus die gedachte is goed te verklaren", stelt Brunsting vast.

"Of het energieverbruik ook daadwerkelijk hoger uitvalt, was tot nu toe nooit specifiek onderzocht. Wij hebben nu kunnen vaststellen dat de telers in diffuse kassen een iets hogere temperatuur aanhouden, wat resulteert in een fractioneel hoger energieverbruik per m<sup>2</sup>. Of het energieverbruik onder diffuus

glas bij gelijke temperatuur eveneens hoger is, hopen wij in een vervolproject te kunnen onderzoeken. Daarover geven de nu verzamelde data geen uitsluitsel."

### Analyse efficiency

"Het effect op het energieverbruik is wel een stuk kleiner dan het positieve effect op de productie", aldus Franken. "Daardoor is per eenheid geoogst product uiteindelijk toch minder energie nodig onder diffuus glas."

Ook in dit geval zijn de onderzoekers voorzichtig in hun conclusies. De analyse van het energieverbruik tussen verschillende kassen of afdelingen is al uitermate complex en verschillen tussen bedrijven, zelfs wanneer zij hetzelfde product telen, maken het nog ingewikkelder. Dankzij het WUR LightLab en het kassimulatiemodel KasPro is er toch een zekere standaardisatie bereikt voor het toetsen en interpreteren van de klimaat- en verbruiksgegevens van de bedrijven. Er moeten echter nog veel data worden ontvangen en verwerkt. Wellicht komt er in de loop van het najaar ook op dit punt meer tekening in de resultaten. Kas als Energiebron gaf opdracht tot dit onderzoek.



In alle bij het onderzoek betrokken kassen zijn PAR-meters geïnstalleerd. Daarnaast ontvangen de onderzoekers klimaat-, productie- en klimaatgegevens van de bedrijven.

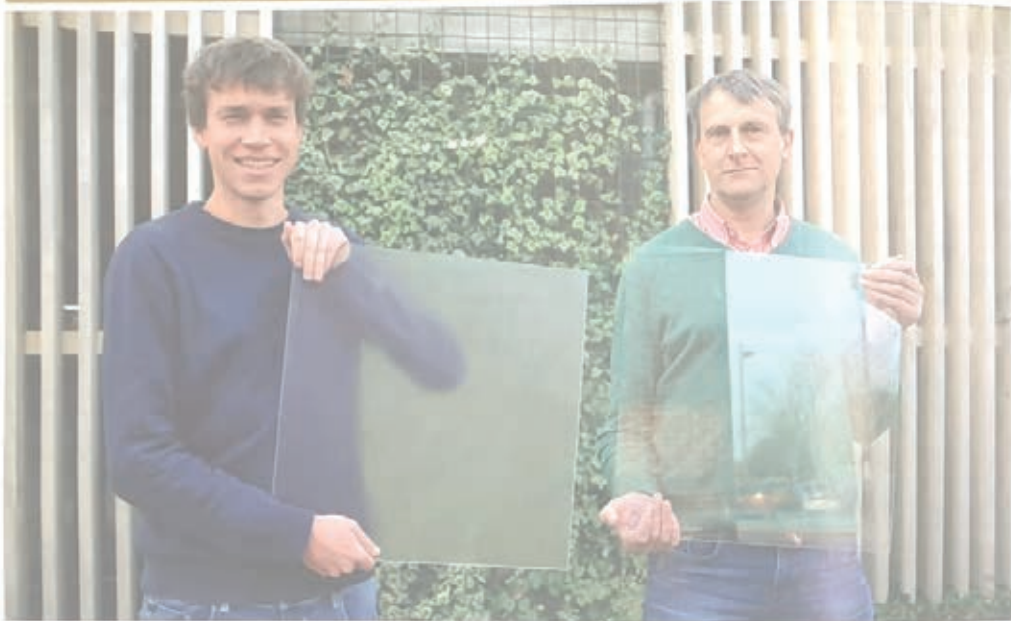
### Samenvatting

Dankzij de medewerking van negen teeltbedrijven met diffuus en transparant glas op goed vergelijkbare kassen vindt er praktijkonderzoek plaats naar de invloed van diffusiteit (hortiscatter) op zowel productie als energieverbruik. Een vuistregel voor de relatie hortiscatter en productie kan telers meer houvast bieden bij het kiezen van een kasdek met diffuse eigenschappen. De invloed op het energieverbruik lijkt voornamelijk zeer beperkt te zijn.



New research should encourage use

## Diffuse glass not yet mainstream despite proof of higher production



*"The rule of thumb for tomato growers, that 10 percent more Hortiscatter provides 3 percent more production, looks likely to be proved right," says researcher Frank Kempkes (right).*

It has long been known that diffuse glass helps to increase production, and yet it is still not yet widely used. With this in mind, researchers from Wageningen University & Research last year started a practical trial entitled "Diffuse glass - make it clear". The hope is that it will present new arguments to win growers over.

When it comes to the choice of glass, growers either decide to use no diffuse glass in their greenhouses at all, or only in a small area, or they opt for clear glass with an AR coating. Full glazing with diffuse glass is relatively rare, even though it has been proven that diffuse glass increases production.

### Higher production

Diffuse glass is not yet commonplace. Why is that? "That's what we were wondering,

too," says Frank Kempkes, researcher at Wageningen University & Research. "Over the past five to ten years, we have conducted trials that show that diffuse glass increases production and quality. For instance, the rule of thumb for tomato growers is: '10 percent more Hortiscatter - the degree of light scatter - provides 3 percent more production'. So, the more diffuse the glass, the higher the production, as long as the hemispherical light transmission remains the same. With pot plants, we even found that diffuse light enabled a higher light intensity to be maintained, which accelerated the crop."

And yet very few growers have picked up on this result. "We don't know why that is," Kempkes says. "But it did prompt us to look into the subject in more depth and see if we could get to the bottom of it."

With the "Diffuse glass - make it clear" project, the researchers want to find out

what the effect of diffusivity is in practice. What happens when a greenhouse is glazed entirely in diffuse glass? Will that lead to even higher production and greater energy efficiency? The researcher: "We want to find out once and for all what the effects of diffuse glass are on production and energy consumption."

### Sensors above the crop

Last autumn, Kempkes and his colleague Geert Franken started a trial at eight nurseries with different crops, such as tomato, cucumber and strawberry. The growers use both conventional and diffuse glass, which allows comparisons to be made.

"We installed a set of light sensors in every greenhouse," Franken says. "There are two sensors just above the trellis girder and just below the roof. A third is attached to a metre-long rod on the column so that it is

hanging just above the crop. The light sensors are linked to a data logger with a SIM card. The light intensity is measured every five minutes. We receive all the measurements on our computer here in Wageningen at the end of the day."

The researchers are also analysing the climate data and production figures from the participating nurseries. "The growers send us their harvest and climate data, which allows us to draw even more accurate conclusions. We then feed back our findings to the growers to hear their views. Of course, it's possible that lower production in a particular greenhouse was simply caused by a disease breaking out there. This kind of feedback enables us to represent our results even more realistically; simply looking at the number of kilograms is clearly not an accurate result."

### Delay caused by virus

Analysing the data is not without its problems, Franken points out. "One grower will log data row by row and another will write down their yields on the back of an envelope, so to speak. What's more, they all work with different climate computers, so we get a huge variety of information which we have to then streamline. We have managed to do that now, but it delayed us quite significantly in the start-up phase."

Another delaying factor was the outbreak of tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV). "This made us change our strategy," Kempkes explains. "To begin with, we were planning to rotate the sets of light sensors between the nurseries, taking measurements at different places for a few months at a time, but because of the virus we were unable to move the measuring equipment around."

### Filleting out the variables

Another difficulty is the presence of so many variables. No two greenhouses are the same. To what extent can you demonstrate that it is the diffusivity that is responsible for higher production? "That is the kind of thing you encounter when you do research in practice," Kempkes says. "There are more variables. A grower may have cluster tomatoes in one greenhouse with clear glass and loose tomatoes in the other with diffuse glass. The planting date can differ, the variety can differ, the greenhouse climate might be different, and is that intentional or was it a consequence of the greenhouse? It might be two degrees warmer all year round in the one greenhouse than in the other."

The age of the glass also plays a role. Has the glass become more or less transparent over time? Soiling can therefore also play a role. Diffuse glass is often newer and the glass quality is sometimes actually better than in the reference greenhouse with clear glass. In that case, you may be getting 5-10



Three light sensors were installed in each of the study greenhouses: just above the trellis grid, just below the greenhouse roof, and just above the crop.

percent more light coming into the diffuse greenhouse. What does that do to the hemispherical light transmission?

### Light use efficiency

"We try to fillet out the variables. What can we attribute to what? For instance, we obtain samples of glass from various greenhouses depending on whether or not a recent measurement report is available for the glass. Those panels are then measured in detail in the WUR light lab."

To further overcome the problems with variables, the researchers decided to work with light use efficiency as a unit. Franken: "This expresses the number of moles of light per kilogram of product. We divide the number of moles we measure by the number of kilograms of tomato, cucumber or strawberry in the greenhouse we are looking at. That gives us a number that allows us to draw a comparison between two greenhouses."

The researchers also make adjustments. Kempkes: "We know from the scientific literature that 100 ppm more CO<sub>2</sub> in the greenhouse has a specific effect on production. We can use these kinds of rules of thumb to make adjustments, so that the diffusivity of the glass is the only remaining variable."

### No firm conclusions

"For now, we have a clear sense that diffuse glass increases production," Franken says. "That rule of thumb for tomato growers, that 10 percent more Hortiscatter provides 3 percent more production, looks likely to be proved right."

As far as energy consumption is concerned, Franken and Kempkes come to a different conclusion: "We haven't noticed any significant differences in energy consumption so far. Even though growers often say that they find diffuse glass increases their energy consumption, we can't demonstrate that significantly in our results."

The funder of the project, Kay als Energiebron, will certainly be pleased with this. As will growers too, no doubt. "After all, the investment in diffuse glass is bigger than in clear glass. So if your energy consumption stays the same and your production increases, your investment will pay for itself sooner."

### Summary

Researchers from Wageningen University & Research want to find out once and for all what the effects of diffuse glass are on production and energy consumption. To get to the bottom of this, they set up another study at eight nurseries. The rule of thumb for tomato growers, that 10 percent more Hortiscatter provides 3 percent more production, looks likely to be proved right. They are also seeing no significant differences in energy consumption, meaning that the investment in diffuse glass could pay for itself sooner than expected.



Tekst: Jojanneke Rodenburg  
Beeld: VidiPhoto

## DIFFUUS GLAS ONDERZOEK

Kassen met diffuus glas warmen niet minder snel op

# Bij diffuus glas 4% hogere productie onder beschikbare zonnestraling



In de kassen zijn PAR-meters geïnstalleerd. Daarnaast zijn productie-, energieverbruik- en klimaatgegevens van de deelnemers verzameld.

In onderzoeksexperimenten is herhaaldelijk bewezen dat diffuus glas tot een meeropbrengst leidt. Een review uit de praktijk over hoe dit zich vertaalt in productie en wat de gevolgen voor het energieverbruik zijn, ontbrak echter nog. Het onlangs afgeronde project 'Diffuus kasdek, maak het eens helder' toont positieve effecten bij deelnemende telers. De onderzoekers constateerden meer oogstbaar product bij een gelijke energie-input.

Geert Franken van Wageningen University & Research sluit met een tevreden gevoel het project af. "Ons doel was om uit praktijkgegevens van verschillende telers en gewassen het effect van diffuus licht op de productie en het energieverbruik te bepalen. Dat is gelukt." Tegelijkertijd betreft de onderzoeker dat twee vragen onbeantwoord blijven. "We

hadden graag de reacties van meerdere gewassen meegenomen in het onderzoek en het inzicht over de effecten van Hortiscatter vergroot. Uiteindelijk bleek de data waarmee we een goede vergelijking konden maken tussen diffuus en helder glas te beperkt."

### Vragen uit de praktijk

Er heerst bij telers nog veel onzekerheid over diffuus glas, weet Franken. "Onder andere over meeropbrengsten. Ook het energieverbruik is onderwerp van discussie. Zo horen we vaak de bewering dat de toepassing van diffuus glas het energieverbruik verhoogt. Beden te meer om onderzoek bij praktijkbedrijven te doen."

Eigenlijk hoopten de onderzoekers op een twintigtal deelnemende telers, maar dat bleek niet haalbaar. Het werden er negen. Wat was het geval: bedrijven met kassen of afdelingen waarin alleen het kasdek (helder

en diffuus) verschilt, bleken nogal dun getal. "Je hebt al snel te maken met uiteenlopende kastypen of verschillen in geteelde rassen of plantdata of zelfs gewassen."

Uiteindelijk kon het onderzoeksteam met vijf tomatentelers, drie komkommerbedrijven en een aardbeienteler aan de slag. Samen met zijn collega Martine Brunsting verzamelde Franken productie-, energieverbruik- en klimaatgegevens van de deelnemers. "We hebben de kassen meer dan een teeltseizoen lang gemonitord en met elkaar vergeleken om het effect van diffuus glas op enerzijds productie en anderzijds energieverbruik te verhelderen."

### Meer oogstbaar product

Met betrekking tot productie toonden de resultaten een duidelijk voordeel voor diffuus glas. Bij elke teler werd in de diffuse kas meer geoogst. Franken licht de werkwijze



toe: "Bij een aantal deelnemers hingen we PAR-sensoren op om het lichtniveau in beide kassen te meten. Daarnaast analyseerden we de klimaatgegevens, de glaseigenschappen en de opzet van het kasdek. Vervolgens konden we op bedrijfsniveau een vergelijk maken tussen de heldere en diffuse afdelingen van de individuele praktijkbedrijven."

Belangrijk cijfer daarbij is de Light Use Efficiency (LUE). Deze parameter geeft weer hoeveel oogstbaar product er per mol licht (zonlicht + eventuele assimilatiebelichting) wordt gevormd. De LUE houdt daarbij rekening met eventuele transmissieverschillen tussen de kassen.

Al in het najaar meldde Franken dat deze LUE bij diffuus glas hoger was. Het eindresultaat bevestigt dat beeld. Want ondanks de beperkte steekproefomvang en de ruis door overige variabelen, werd er uiteindelijk een 6% hogere LUE berekend in de diffuse kassen. "Dat betekent dat onder het diffuse kasdek per mol beschikbaar licht op gewashoogte 6% meer kilo product werd geoogst dan onder helder glas bij deze gewassen."

### Productiesystemen vergelijken

Ook is er gekeken naar de lichtefficiëntie van het gehele kassysteem, hiervoor werd de Radiation Use Efficiency (RUE) berekend. Franken: "Corrigeert de LUE voor het verschil in kastransmissie, er wordt immers berekend op basis van de molsoom op gewasniveau, bij de RUE vergelijk je de heldere en diffuse kas echt als productiesysteem. Dus inclusief alle verschillen in het kasdek."

De onderzoeker: "We zagen een 4 procent hogere RUE in de diffuse kas. Oftewel, daar werd per mol beschikbare zonnestraling 4 procent meer kg product geoogst. Dit is een grof gemiddelde omdat het verschil in assimilatiebelichting en transmissie ook meegenomen wordt in de berekening van RUE."

### Geen hoger verbruik

Eén-nul dus voor diffuus glas. Maar naast productie keken de onderzoekers ook naar de invloed van diffuus glas op het energieverbruik. "De gedachte leeft dat diffuse kassen minder snel opwarmen, dat zou dus gecompenseerd moeten worden, met als gevolg een hoger energieverbruik," verklaart Brunsting het tweede onderzoeksdoel. Na bestudering van de verzamelde data blijkt deze bewering echter niet waar. "We hebben kunnen vaststellen dat bij gelijke temperatuurinstellingen het energieverbruik per vierkante meter nagenoeg gelijk is aan dat in een gangbare, heldere kas. Het is dus bewezen dat er geen hoger energieverbruik is onder diffuus glas."

### Andere instellingen

Tegelijkertijd snapt de onderzoekster best waar die bewering vandaan komt. "Loop een diffuse kas in en je merkt dat het klimaat



Martine Brunsting en Geert Franken: "Onder diffuus glas was de productie hoger zonder een hoger energieverbruik."

anders aanvoelt en het gewas anders oogt. We kunnen ons dus heel goed voorstellen dat telers hun strategie daarop aanpassen. Bijvoorbeeld door hogere temperaturen te hanteren. Die keuze wordt na verloop van tijd de nieuwe standaard."

Brunsting: "We zagen het bij sommige praktijkbedrijven. Zij kosen voor een 0,5°C hogere temperatuurinstelling in de diffuse kas ten opzichte van de heldere kas. Logisch dus dat de stookkosten dan ook hoger liggen. Maar zelfs dan is het effect op het energieverbruik een stuk kleiner dan het positieve effect op productie. De energie-efficiency van een diffuse kas is beter. En dan heb ik het nog niet eens over de prettige arbeidsomstandigheden in een diffuse kas"

### Praktijkomgeving vol variabelen

Het 'telersgevoel' bleek niet de enige factor bij dit praktijkexperiment die een heldere energieanalyse in de weg stond. Brunsting: "Bekend is dat het eindresultaat van een teelt van vele factoren afhankelijk is. Misschien was er in één van de kassen wel net iets meer plantuitval door Botrytis of virus. Daarnaast constateerden we ook verschillen in de kasopstanden onderling. De meeste kassen met een diffuus kasdek zijn nieuwer en hebben bijvoorbeeld betere schermdoeken, minder lekventilatie of andere klimaatsystemen."

Al die verschillen, zelfs binnen één bedrijf, maakten het voor de onderzoekers extra lastig om tot een eenduidig resultaat te komen. De interessante bevindingen dragen desalniettemin bij aan meer inzicht in de effecten van diffuus glas.

### Hortiscatter en meerproductie

Franken: "Het is een terugkerende vraag van telers als we het hebben over diffuus glas. Wat zijn de voordelen van een specifiek glastype voor hun teelt? Een cijfermatig verband tussen Hortiscatter en productie gebaseerd op praktijkcijfers zou meer houvast kunnen geven bij de keuze van het glas."

Maar zo ver is het nog niet omdat in de overgebleven datasets te weinig spreiding in Hortiscatter zat. Om deze vraag te beantwoorden zijn meer bruikbare datasets nodig. Inmiddels is het project afgerond. "Diffuus kasdek, maak het eens helder" werd gefinancierd vanuit het programma Kas als Energiebron.

### Samenvatting

Het project 'Diffuus kasdek, maak het eens helder' onderzocht op negen teeltbedrijven, met diffuus en helder glas in goed vergelijkbare kassen, de invloed van diffusiteit op zowel productie als energieverbruik. De steekproef toonde een duidelijk verband aan tussen glastype en meeropbrengst. Op alle praktijklocaties werd onder diffuus glas meer geoogst. Qua energie bleek er geen verschil bij dezelfde setpoints: het verbruik per m<sup>2</sup> was dan gelijk. Telers kiezen vaak wel voor een ander temperatuurregime in de diffuse kas.







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



Wageningen University & Research,  
BU Glastuinbouw  
Postbus 20  
2665 ZG Bleiswijk  
Violierenweg 1  
2665 MV Bleiswijk  
T +31 (0)317 48 56 06  
[www.wur.nl/glastuinbouw](http://www.wur.nl/glastuinbouw)

Rapport WPR-1085

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.