Analyse kastransmissie van een helder-diffuus en een referentie kas

Frank Kempkes, Gert-Jan Swinkels

Wageningen UR Glastuinbouw
Wageningen, december 2015

Rapport XXXX

Referaat
In de winter is onder Nederlandse omstandigheden licht de beperkende factor voor de groei van het gewas. Het ontwerp van de Venlo kas is niet wezenlijk veranderd gedurende vele jaren. Echter de ontwikkeling van diffuus glas en het gebruik van antireflectie coatings zijn van recente datum. Wageningen UR Glastuinbouw heeft in opdracht van Kas als Energiebron transmissie metingen verricht aan een nieuw kastype met helder-diffuus kasdek, en dit vergeleken met een referentie kas. Omdat de verschillen aanzienlijk groter waren dan verwacht, zijn er extra metingen aan het glas, zowel droog als nat, in het laboratorium uitgevoerd. Voor een verdere analyse van de verschillen zijn de meetresultaten van de laboratorium metingen gebruikt om met Ray-tracing berekeningen het effect van condensatie op lichttransmissie van de kas beter te kunnen kwantificeren. Gebleken is dat het condensatiegedrag op de verschillende materialen voor het grootste deel verantwoordelijk is voor het verschil in lichttransmissie.

Abstract
In winter at northern latitudes light is the limiting factor for crop growth. The design of the Venlo greenhouse has not been changed for many years although the development of diffuse glass and use of Anti Reflection coatings were only recent. Wageningen UR Greenhouse Horticulture measured light transmission of a new, clear-diffuse greenhouse cover and a reference greenhouse, both at a commercial grower. Since the differences in transmissivity of the cover were significantly larger than expected, additional measurements of the glass, wet as well as dry, were carried out in the laboratory. For further analysis of the differences, the results of the laboratory measurements were used to quantify better the effect of condensation on light transmission in the greenhouse. For these calculations, Ray-tracing models were used. Different condensation patterns on the different materials causes the biggest differences in light transmission.

Rapportgegevens

Rapport GTB-QQQQQ
Projectnummer: 3742124812
PT nummer: 14571

Disclaimer

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

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

Adresgegevens

Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

Voorwoord **5**

Samenvatting **7**

1 Inleiding **9**

1.1 Aanleiding 9
1.2 Doel 9

2 Licht **11**

2.1 Droge laboratorium metingen 11
2.2 Metingen in de kas 12
2.2.1 Kastransmissie meting helder-diffuus kas 6 februari 2014. 12
2.2.2 Kastransmissie meting helder-diffuus kas 25 februari. 14
2.2.3 Kastransmissie meting helder-diffuus kas 25 juli. 14
2.2.4 Kastransmissie meting helder-diffuus kas 26 september. 14
2.2.5 Samenvattend 14
2.3 Modelsimulaties 14

3 Conclusies en aanbevelingen **17**

4 Literatuur **19**

Voorwoord

Sinds de start van het onderzoeksprogramma Kas Als Energiebron hebben een groot aantal energie-innovaties het licht gezien. Veel zijn gericht op betere isolatie, vooral door schermen. Daarnaast is er een voorzichtige toename in de toepassing van isolatieglas. Andere innovaties hebben betrekking op betere benutting van licht, waaronder materialen die licht diffuus maken en materialen die voor hogere lichttransmissies zorgen zoals anti-reflectie (AR) coatings.
Het is voor een verdere uitrol van deze technieken van groot belang dat de resultaten bij innovators die als eerste met de nieuwe systemen aan de slag zijn gegaan, via monitoringsprojecten goed over het voetlicht gebracht worden. Door de intensieve aandacht middels het monitoringsprogramma neemt de slagingskans van energie-innovaties op deze bedrijven duidelijk toe.
Monitoring objectiveert, verheldert en verdiept het inzicht van de ondernemer in de mogelijkheden die een innovatie voor zijn bedrijf kan hebben. Monitoring laat ook zien hoe de nieuwe systemen zo goed mogelijk kunnen worden benut. Door monitoring wordt het mogelijk dat bestaande kennis kan landen, dat ervaringen van betrokkenen uit eerdere energiebesparingsprojecten kunnen worden gedeeld en dat nieuwe ideeën, nog voor ze worden toegepast, op waarde kunnen worden geschat. Hierdoor neemt de kennis over praktisch toepasbaarheid van innovaties toe.
Uiteindelijk levert de publicatie van de bevindingen van de monitoring een grote bijdrage aan de verspreiding van de best passende technieken voor verschillende teelten.

Samenvatting

In de wintermaanden is het voor Nederlandse glastuinbouwbedrijven belangrijk om een hoge en kwalitatief goede gewasproductie te realiseren. In deze periode zijn productprijzen doorgaans hoog, waardoor juist de winterproductie belangrijk is. In Nederland zijn de gemiddelde stralingssommen in de winter tien keer lager dan in de zomer. Er is dan ook sprake van licht als beperkende groeifactor. Desondanks is het belangrijk om het beschikbare natuurlijke licht zo veel mogelijk voor de gewasproductie te benutten. Het huidige ontwerp van de Venlo kas is al vele jaren het zelfde. Echter in de afgelopen jaren zijn er op een aantal belangrijke onderdelen in het kasdek wel ontwikkelingen geweest. Enkele van de belangrijkste zijn de komst van diffuus glas en de toepassing van AR coatings.

Wageningen UR Glastuinbouw heeft in opdracht van Kas als Energiebron metingen gedaan aan de kastransmissie van een nieuw type helder-diffuus kasdek en die vergeleken met die van een referentie kas; beide aanwezig op één bedrijf in de praktijk. Omdat de verschillen groter bleken dan vooraf gedacht, zijn er in het light lab van Wageningen UR Glastuinbouw additionele metingen verricht om het effect van condens op dit ruit type nader te kwantificeren. Daarbij zijn twee opvallende zaken naar voren gekomen. Tijdens de bouw is een sample doorgemeten (droog). Na één jaar is uit de voorraad reserveruiten op het bedrijf aan een tweede sample gemeten. Er was een afwijking ten opzichte van de eerste meting die groter was dan de meetfout. Vervolgens bleek ook nog eens dat de transmissie van deze ruit onder natte omstandigheden nog eens ruim 4% terugliep. Omdat metingen aan de transmissie van een operationele kas lastig is, zijn er met behulp van ray-tracing modellen berekeningen uitgevoerd om de verschillen in transmissie van het gehele kasdeksysteem te kwantificeren. Daaruit is gebleken dat verschillen in de constructie al een ruime 2.5 % lichtverschil veroorzaken. Als daarbij ook nog het glas bij betrokken wordt, dan loopt het verlies op tot 5.3% in het geval van droog glas. Bij nat glas liep het verschil zelfs op tot een kleine 10% in het nadeel van de helder-diffuus kas ten opzichte van de referentie kas. Bij het ontwikkelen van nieuwe kasdekmaterialen dient daarom terdege rekening gehouden te worden met het condensatiegedrag tegen het materiaal.

1 Inleiding

Om stijgende energieprijzen in de toekomst het hoofd te kunnen bieden en om te beantwoorden aan de maatschappelijke vraag naar duurzamer productiesystemen, moeten tuinders initiatieven nemen voor de aanpassing van de energiesystemen in hun kas. Dit kunnen ingrijpende aanpassingen zijn, zoals de toepassing van warmte en koudeopslag die in veel phalaenopsisbedrijven is toegepast, maar ook eenvoudiger systemen, zoals de toepassing van zorgvuldig regelende ontvochtigingsystemen. Daarnaast wordt gewerkt aan verhoging van de isolatiegraad van de kas: hetzij middels meerdere schermen, hetzij door isolerende kasdekken. Een ander spoor is gericht op het efficiënt benutten van zonlicht. Binnen dit spoor past de ontwikkeling van materiaal dat het licht diffuus maakt, en bijvoorbeeld ook de ontwikkeling van kasdekmaterialen en kasconstructies met zeer hoge lichttransmissie.
De vernieuwingen die in de afgelopen jaren zijn ontwikkeld zijn resultaten van het onderzoeks-programma Kas Als Energiebron, waarin middels intensieve samenwerking van onderzoek, toeleveranciers, voorlichting en tuinders de contouren zichtbaar zijn geworden van wat genoemd wordt Het Nieuwe Telen.
In Het Nieuwe Telen staat de plant centraal en wordt de kasklimaatregeling zodanig ingezet dat de plant evenwichtig kan groeien, terwijl het energieverbruik voor de teelt tot een minimum beperkt wordt. Sleutelfactoren hierbij zijn het telen bij een hogere luchtvochtigheid en het verhogen van de isolatiegraad van de kas, bijvoorbeeld door een intensiever gebruik van energieschermen. Telen bij een hogere luchtvochtigheid beperkt de verdamping van het gewas en verkleint de ventilatiebehoefte. Het intensiever gebruik van energieschermen betreft zowel de vergroting van het aantal uren, de beperking van schermkieren en de toepassing van extra schermen. Als alternatief voor verhoging van de isolatiegraad van de kas kan naast intensiever schermen ook een isolerend kasdek toegepast worden. Om op deze energiezuinige wijze te kunnen telen is een homogeen kasklimaat een voorwaarde. Zekerheid over een goede temperatuurverdeling maakt dat ook bij hoge luchtvochtigheden de kans op natslag in kasgedeelten met een onder gemiddelde temperatuur klein genoeg is om met vertrouwen zo'n energiezuinig klimaat te kunnen hanteren. Het gebruik van luchtdistributiesystemen wordt gezien als belangrijke techniek om deze homogeniteit te realiseren en daarom is in de sector 'Het Nieuwe Telen' bijna synoniem geworden aan 'het gebruik van luchtdistributiesystemen'. Een verhoging van de isolatiegraad van de kas heeft ook gevolgen voor de condensatie tegen het kasdek.

1.1 Aanleiding

Voortbordurend op resultaten van diverse projecten uit het Kas als Energiebron programma, is een ontwerp gemaakt voor de zogenaamde "Greenportkas II" (Verkerke et al., 2013). Het was de bedoeling dat deze kas gebouwd zou gaan worden, en dat vanuit Kas als Energiebron zowel de energieprestaties als de teelt gemonitord zouden worden. Helaas is door omstandigheden deze kas niet gebouwd.

In overleg met Kas als Energiebron is besloten om de geplande monitoring uit te voeren op een ander bedrijf. Dit bedrijf had zeer recent een innovatieve kas gebouwd, met een kasdek met min of meer vergelijkbare functionaliteiten als de Greenportkas. Belangrijk onderdeel daarvan was de combinatie van materiaal dat het licht diffuus maakt, met een coating dat voor hoge lichttransmissie zorgt (AR-coating) en een hoge isolatiegraad.

1.2 Doel

Doel van dit onderzoek was het monitoren van de prestaties van de innovatieve kas met "helder-diffuus" kasdekmateriaal, met name op het gebied van de lichttransmissie en lichtverdeling, en dit te vergelijken met de prestaties van een normale, moderne tuinbouwkas op hetzelfde bedrijf. Hierbij is speciale aandacht gegeven aan de effecten van condensatie tegen het kasdek en de gevolgen hiervan op de lichttransmissie en de lichtverdeling in de kas.

2 Licht

Licht is en blijft een bijzonder belangrijke productiefactor. Voor een vergelijk van kassen is de transmissie van de kas dan ook een eerste stap. De verschillende dek- en onderbouw-constructies zijn hierbij nog een complicerende factor. In dit hoofdstuk worden de laboratorium metingen en de meetresultaten van transmissiemetingen in de kas (boven de gewasdraad) besproken. Er is ook nog een theoretische benadering gemaakt met behulp van het rekenmodel raypro.

2.1 Droge laboratorium metingen

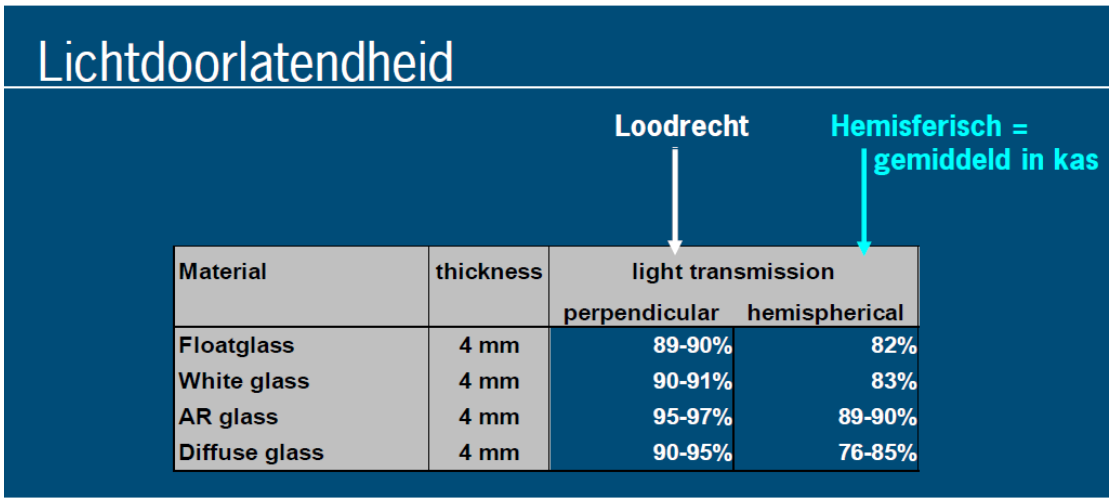
Van het geleverde glas voor de kas is een luchtraamruit in het lightlab van Wageningen UR Glastuinbouw doorgemeten. Er is in verband met de hanteerbaarheid van het monster gekozen voor een luchtraamruit, waarbij de aanname gedaan wordt dat deze ruit representatief is voor alle ruiten.
Voor de meting is net zoals bij de montage in de kas de heldere kant van de ruit aan de buitenkant en de diffuse kant naar binnen geplaatst. In Tabel 1 staan de belangrijkste resultaten.

Tabel 1. Overzicht meetresultaten gemeten helder diffuus ruit.

Measurement	T normal	hemispherical	Haze
Method	WUR-TNO	WUR-TNO	WUR-TNO
Mean	NEN 2675	NEN 2675	Not weighted
glas helder- diffuus	93.1 ± 0.5 %	80.9 ± 0.5 %	68 ± 5 %

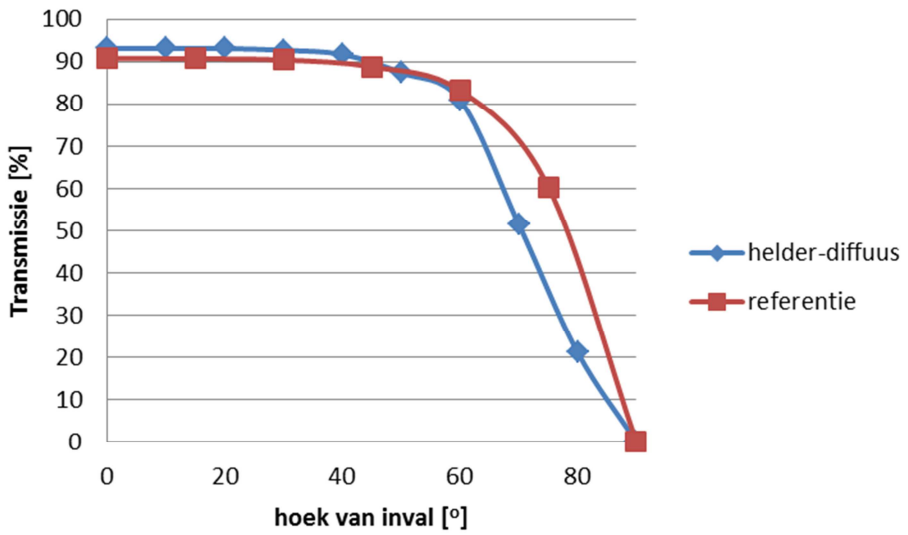
	Angle of incidence [°]							
	10	20	30	40	50	60	70	80
glas helder- diffuus	93.1	93.1	92.7	91.7	89.4	80.9	51.4	21.1

Het glas van de referentiekas (kas 3) is nooit gemeten in het light lab. Wat wel bekend is dat dit het zo genoemde low iron , ook wel "White glass" genoemd glas is. Ter indicatie wat dit betekent voor de transmissie, een sheet (figuur 1) met daarbij veel gebruikte getallen voor de transmissie van verschillende materialen die niet voorzien zijn van coatings zoals AR (Anti Reflectie).



Figuur 1. Sheet met overzicht van transmissies van enkele veel gebruikte materialen.

Op basis van de metingen aan het helder-diffuus glas en de tabelwaarden voor het referentieglas, zou bij gelijke kasconstructie dus een verwacht licht verlies van ca. 2 % ontstaan.
In figuur 1A is de hoekafhankelijke transmissie van de beide kasdekmaterialen (droog) getoond.



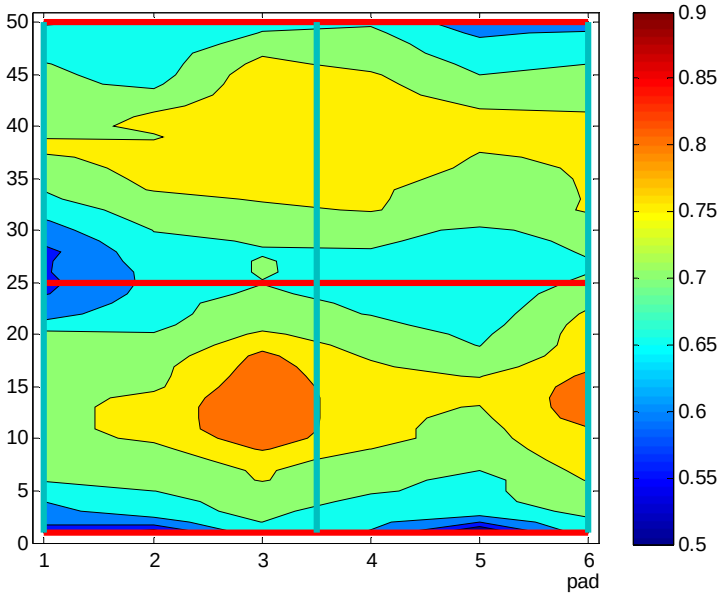
Figuur 2A. Hoek afhankelijke transmissie van de referentie kas en de kas met helder-diffuus glas (0° is loodrecht).

2.2 Metingen in de kas

Er zijn ook transmissiemetingen in de kas verricht, 4 keer in totaal. Dat is gedaan met een set Li-cor PAR sensoren (LI-190). Daarvoor wordt één sensor op een plek in het "open" veld buiten de kas geplaatst met een eigen datalogger die om de 2 seconden logt. Een tweede vergelijkbare set wordt voor de binnen meting gebruikt, waarbij de sensor op de buisrailkar is geplaatst die tot boven de gewasdraad wordt geheven en met een "constante" snelheid door een aantal paden en vakken rijdt. Het aantal waarnemingen, wat per pad wat kan verschillen maar wel altijd een begin en eind bij een goot, poot of tralie kent, wordt later lineair geïnterpoleerd naar een vast grid om het aantal metingen over gelijke afstand te verdelen. Aan het begin en aan het eind van de metingen worden beide sensoren buiten naast elkaar gelegd zodat een eventuele correctiefactor kan worden bepaald. Het gaat hierbij niet zozeer op de absolute lichtniveaus maar om de verhouding. De meetresultaten worden in een contourplot weergegeven waarna het gemiddelde de overall transmissie weergeeft.
De metingen zijn in verband met logistieke redenen uitgevoerd in kas 2 en afdeling 42. Van de eerste meting op 6 februari 2014 zijn de resultaten uitgebreid beschreven, van de latere metingen zijn de resultaten in een tabel opgenomen.

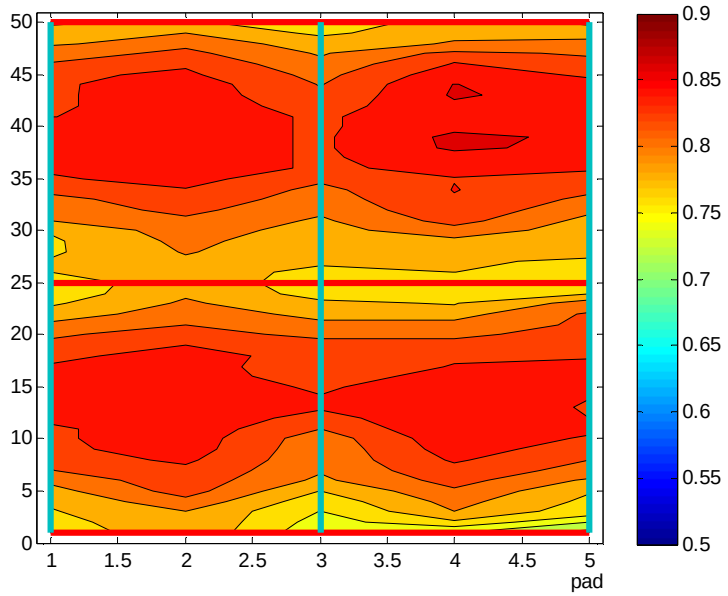
2.2.1 Kastransmissie meting helder-diffuus kas 6 februari 2014.

Op deze sombere dag was het kasdek in beide kassen nat van het condens. In ieder pad zijn circa 30 metingen verricht. De y-as in figuur 2 met de contourplot van de helder-diffuus kas loopt van 0 tot 50, de ca. 30 waarnemingen zijn hiernaar opgedeeld. Er is in 6 paden gemeten, de eerste metingen starten ca. 15 meter vanaf het pad.



Figuur 3. Kastransmissie op hoogte gewasdraad in de helder-diffuus kas gemeten in 6 paden in 2 vakken.

De lage metingen aan het begin van pad 1,2 en 5 kan het gevolg zijn van de meetmethode, evenals midden in pad 1. Deze blauwe contour loopt tot aan pad 2 wat betekent dat deze lagere transmissie alleen in pad 1 is gemeten. Het komt namelijk niet structureel terug in de andere paden op de zelfde plaatsen. Het gemiddelde van alle metingen is 0.721. Wordt een representatief deel zoals dat repeteert in de kas, in dit geval van goot tot goot en van kolom tot kolom (pad 4 t/m 6, regel 22 t/m 47) dan wordt de transmissie 0.728. Reden om regel 22 t/m 47 te tellen komt doordat aan het eind rond regel 50 wat lagere waarden zijn gevonden, maar daar hing ook een zwavelpot.
In de referentiekas zijn 5 paden in 1 tralie over 2 vakken gemeten, het 3^{e} en 4^{e} vak vanaf het pad, dit om de circulatieventilator te mijden. In de 2 vakken zijn per pad wederom ca. 30 metingen verricht die ook nu weer zijn ge-extra / intra-poleerd naar 50 waarden per pad. De contourplot van deze meting is in figuur 3 gegeven.



Figuur 4. Kastransmissie op hoogte gewasdraad in de referentiekas gemeten in 5 paden in 2 vakken.

Het gemiddelde van alle metingen is 0.818. Dat zal nog iets verfijnd kunnen worden door een goede selectie te nemen. Hier geldt hetzelfde voor als bij helder-diffuus kas. Wordt een representatief deel zoals dat repeteert in de kas, in dit geval van goot (bij de kolom van pad 1) tot goot (bij de kolom van pad 5) en van tralie tot tralie (pad 1 t/m 5, regel 5 t/m 30) dan wordt de transmissie 0.817.

2.2.2 Kastransmissie meting helder-diffuus kas 25 februari.

Op 25 februari zijn kastransmissie metingen uitgevoerd in een tweetal kassen, de helder-diffuus kas (volledig bedekt met condens; film en druppels), en de referentie kas, met condens maar vooral als film en weinig druppels. Onder de luchtramen neigde het glas zelfs naar een droge situatie in de referentieafdeling.
Bij de meting in zowel de helder-diffuus als de referentiekas was het kasdek aan de buitenkant droog. Wel waren de weersomstandigheden m.b.t. het licht vooral in de referentiekas in een aantal paden (te) sterk variabel zodat dit geen volledige kasmeting is geworden. Er is nu in drie vakken en wederom 6 paden van de helder-diffuus kas gemeten, in totaal ca. 280 metingen waarop het gemiddelde is gebaseerd. Het gemiddelde van alle 280 meetpunten is 0.691. Dit is wat lager dan de meting op 6 februari, maar het hele niveau, ook in referentiekas is lager. In tegenstelling tot de eerste meting is het nu lastiger een repeterend patroon te ontdekken, reden om alle metingen bij elkaar te nemen en te middelen.
In de referentiekas zijn 5 paden in 1 tralie over 3 vakken gemeten, het 3^{e} t/m 5^{e} vak vanaf het pad, dit om de circulatieventilator te mijden. In de 3 vakken zijn per pad wederom ca. 45 metingen verricht die ook nu weer zijn ge-extra / intra-poleerd naar 80 waarden per pad. De lichtvariatie was in een aantal paden zodanig groot (en met de buitensensor op meer dan 100 meter afstand) dat slechts 1 pad als goede meting bestempeld kan worden, pad 1. Het gemiddelde van dit pad is 0.762.

2.2.3 Kastransmissie meting helder-diffuus kas 25 juli.

Deze dag was het zonnig weer waardoor het kasdek droog was. Daar staat tegenover dat de luchtramen ver openstonden zodat zeker in de referentiekas een deel van het buitenlicht direct op de sensor kon schijnen. Door het hogere lichtniveau en doordat er een behoorlijk aandeel direct licht bij aanwezig was, is de snelheid van de buisrailkar verlaagd zodat er per pad meer metingen zijn verricht. In totaal 10 paden in de referentie en 9 paden in de helder-diffuus kas gemeten, beiden met 3 vakken. In de berekening van het gemiddelde is het pad met het hoogste en het pad met de laagste waarde niet in de berekening van het gemiddelde opgenomen. Resultaat voor de helder-diffuus kas 0.665 en voor de referentie kas 0.75.

2.2.4 Kastransmissie meting helder-diffuus kas 26 september.

Het kasdek was bij aanvang van de metingen in de referentiekas droog maar in het 4^{e} pad begon het licht te motregenen zodat het dek aan de buitenkant vochtig werd. Voor de meting in de helder-diffuus kas is gewacht tot het dek weer droog was, wat met dit type glas moeilijk te constateren is.
Resultaat voor de helder-diffuus kas 0.729 en voorreferentie kas (gemiddelde bepaald over 4 van de 5 paden) 0.791.

2.2.5 Samenvattend

In tabel 2 een overzicht van de meetresultaten van de 4 metingen in de kas. Hoewel de metingen nooit onder "ideale" omstandigheden zijn uitgevoerd, is de ratio van de metingen behoorlijk constant, waarbij een meetfout van enkele procenten in acht genomen moet worden.

Tabel 2. Kas transmissiemetingen helder-diffuus en referentie kas

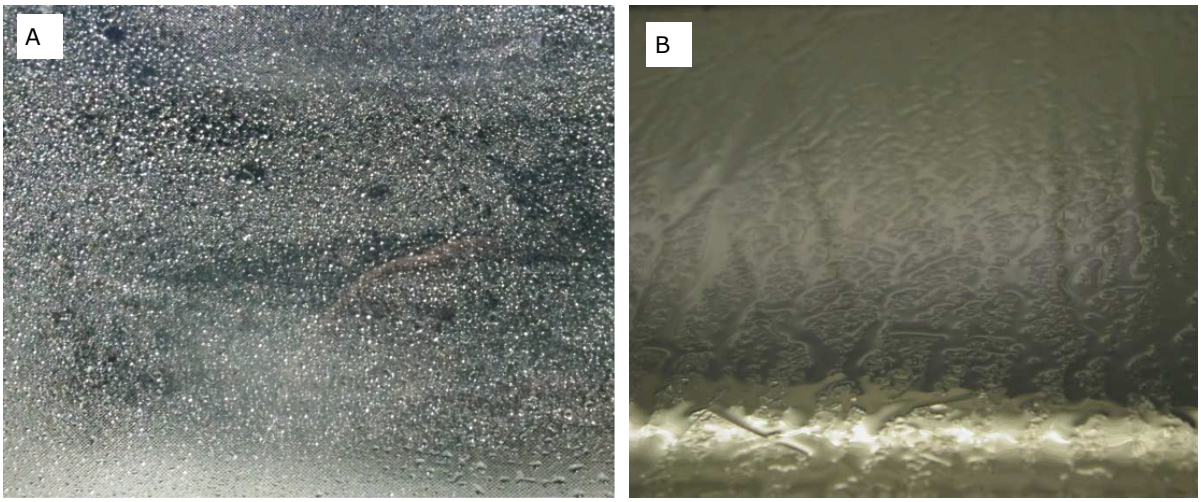
Datum	helder-diffuus kas	Referentie kas	Verhouding helder-diffuus /Referentie	Opmerking
6 feb	72.8	81.7	0.89	Condens
25 feb	69.1	76.2	0.91	Condens
25 juli	66.5	75.0	0.89	Droog
26 september	72.9	79.1	0.92	Droog

Gemiddeld laat de helder-diffuus kas volgens deze metingen 10% minder licht door, terwijl daar op basis van de in paragraaf 2.1 gepresenteerde resultaten slechts zo'n 2% verwacht werd, mits de kasdekconstructie een gelijk lichtverlies kent tot aan de gewasdraden.

2.3 Modelsimulaties

Om de verminderde transmissie die uit de metingen in de kas naar voren komt te kunnen verklaren zijn simulaties uitgevoerd met een ray-tracing model. Hiervoor zijn van zowel de referentiekas als de helder-diffuus kas 3D modellen gemaakt en zijn de gemeten optische eigenschappen van de gebruikte glastypes (zoals in het lichtlab gemeten) in het model ingevoerdt. Er zijn berekeningen gemaakt voor zowel een droge als natte situatie (condens). Het in de referentiekas gebruikte glas was niet beschikbaar voor een

natte meting. Echter, tijdens observaties is gezien dat er bij condensatie een waterfilm gevormd wordt en (vrijwel) geen druppelvorming plaatsvindt. Hierdoor kan aangenomen worden dat de lichttransmissie gemiddeld hoger is dan een droog materiaal. Voor de berekeningen is uitgegaan van een verhoging met 1% punt onder alle hoeken van inval. Van de helder-diffuus kas is een luchtraam doorgemeten op zowel de Transvision meetapparatuur (transmissie) als op de IS-SA (lichtverstrooiing) in het lichtlab van Wageningen UR glastuinbouw. Hierbij is de transmissie zowel droog als nat uitgevoerd waarbij de ruit aan de onderkant (kas-kant) natgemaakt is d.m.v. een plantenspuit met demiwater. De ruit is van tevoren schoongemaakt. De gemeten hoekafhankelijke transmissie en licht spreiding (BSDF-data) van de lichtverstrooiing zijn ingevoerd in het simulatiemodel. In figuur 3A is de nagebootste condensvorming getoond. Er zijn vele kleine druppeltjes zichtbaar zodat deze ruit zich hydrofoob lijkt te gedragen. Ter vergelijk is in figuur 3B een als waterfilm gecondenseerd
In een eerder stadium (bij de levering van het glas op de bouw) is het glas voor een luchtraam van de helder-diffuus kas aan het lichtlab aangeboden en gemeten, zie resultaten in tabel 1. Vervolgens is een jaar later een ander luchtraam (uit de voorraad) gehaald en doorgemeten. Daar hier "behoorlijke" verschillen zijn gemeten, en het raam van de eerste meting nog in het laboratorium aanwezig was, is deze ook opnieuw gemeten. De resultaten zijn in tabel 3 samengevat.



Figuur 3. Natte ruit van de helder-diffuus kas (A) die als hydrofoob gekenmerkt kan worden en een referentieruit (B) die als hydrofiel gekenmerkt kan worden.

Tabel 3: Gemeten transmissies van een luchtraam van de helder-diffuus -kas, sample 1 bij de bouw en sample 2 na één jaar.

Sample	Meetdatum		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	Them
1	Bouw	Droog	93.1	93.1	93.1	92.7	91.7	89.4	80.9	51.4	21.1	80.9
	Na 1 jaar	Droog	92.8	92.8	92.5	92.3	91.5	89.2	80.4	51.0	21.4	80.6
2	Na 1 jaar	Droog	91.6	91.7	91.4	90.9	89.9	87.5	79.3	51.8	20.3	79.4
		Nat	87.3	87.3	86.7	85.9	84.7	81.9	73.9	50.8	23.0	75.2
		Verschil	-4.2	-4.4	-4.6	-5.0	-5.2	-5.6	-5.4	-1.0	2.7	-4.2

De herhalingsmeting na één jaar van sample 1 dat tijdens de bouw al is doorgemeten, laat zien dat deze meting binnen de marges op het zelfde niveau uitkomt. Het sample 2 dat na één jaar uit de reserve voorraad van het bedrijf is genomen, komt droog echter meer dan 1% lager uit dan sample 1. Dit valt buiten de meetnauwkeurigheid en hier is geen verklaring voor. Vervolgens is sample 2 ook nat gemeten, dat kost nog eens ruim 4% licht.
De resultaten van sample 2 zijn voor de 3D modelberekeningen gebruikt.

Voor de 3D modellen zijn de volgende afmetingen gebruikt; tabel 4.

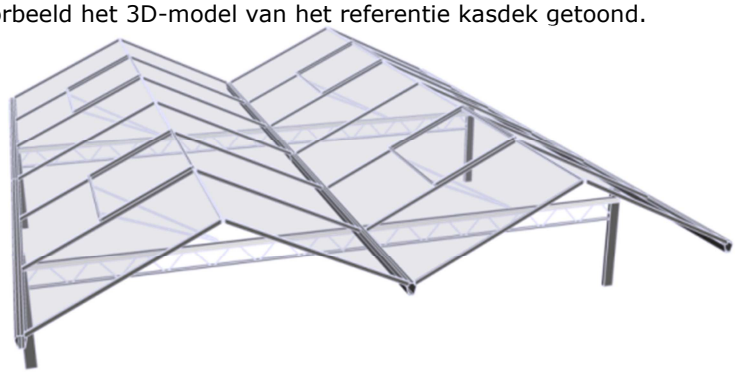
Tabel 4: Gebruikte afmetingen referentie en helder-diffuus kas.

	referentie	helder-diffuus
Dakhelling	26°	22°
Kapbreedte	4 m op 8 m tralie	6 m
Vakmaat	5 m	5.4 m
Glasmaat (breedte)	1.67 m	2.00 m

Bij de berekeningen is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:
- Gebaseerd op ray-tracing.

- Het kasdek is als oneindig groot beschouwd, er zijn dus geen randeffecten.
- De transmissie geldt voor hemisferisch invallend licht en is gewogen naar NEN2675
- Op basis van aangeleverde CAD-tekeningen zijn vereenvoudigde modellen opgesteld van de belangrijkste constructie-elementen, gebaseerd op de buitenmaten.
- Alle constructie-onderdelen reflecteren diffuus en hebben een reflectiewaarde van 0.5 over het hele spectrum.
- De berekende transmissie geldt voor anderhalve meter onder de goot.

In figuur 5 is als voorbeeld het 3D-model van het referentie kasdek getoond.



Figuur 5. 3D-model van het referentie kasdek.

Om technische redenen zijn de luchtramen niet om en om aan weerszijde van het dek gemodelleerd maar aan één kant van het kasdek. Hierbij wordt aangenomen dat dit nagenoeg geen effect heeft op de hemisferische transmissie.

De resultaten van de berekeningen zijn in tabel 5 samengevat.

Tabel 5. Hemisferische transmissie volgens NEN2675 met een nauwkeurigheid van ±0.1%

	Referentie [%]	helder-diffuus -kas [%]	Verschil [%punt]
Exclusief glas	86.0	83.3	-2.7
Inclusief glas droog	75.5	70.2	-5.3
Inclusief glas nat	76.3	66.8	-9.7

De berekeningen laten zien dat:

- De constructie al een verlies van ruim 2.5 % laat zien ten opzichte van de referentie kas. Dat is meer dan in de ontwerpfase van kas is berekend. Toen is voor de referentie uitgegaan van 2 schermpakketten zonder insectengaas, terwijl dit in werkelijkheid maar 1 scherm is geworden maar de kas wel van insectengaas is voorzien. Daarnaast is in de helder-diffuus kas nu wel een kolomschoor gemonteerd. Hierdoor wordt de referentie een stuk beter en de helder-diffuus kas iets minder goed waardoor het totale verschil oploopt tot ruim 2.5%.
- De berekening inclusief droog glas laat een toename tot bijna 5.5% in lichtopbrengst zien. Het verschil van 2.6% ten opzicht van alleen de constructie is vrijwel gelijk aan het hemisferische verschil tussen het referentieglas en het helder-diffuus kas glas sample 2 (tabel 5).
- Zoals tabel 5 laat zien is het nat effect van het helder-diffuus kas glas behoorlijk negatief terwijl ten gevolge van de film vorming op het referentieglas een kleine plus wordt ingecalculeerd. Hierdoor neemt het verschil in natte toestand verder toe tot een kleine 10%.

3 Conclusies en aanbevelingen

De metingen en berekeningen laten zien dat onder bepaalde omstandigheden het lichtverlies in de helder-diffuus kas op kan lopen tot een kleine 10%. Hierbij speelt condens tegen het glas dat zich als hydrofoob laat kenmerken een grote rol en draagt bijna voor bijna de helft aan dit verschil mee. Vooral in de wintermaanden bij beperkte ventilatie zal het kasdek merendeels van de tijd nat zijn. Door dit forse lichtverlies, zullen de positieve effecten van het diffuse licht grotendeels dan wel geheel teniet gedaan worden (Dueck et al. 2012A, 2012B).
Hoewel er op dit bedrijf geen vergelijkend onderzoek naar verschillende AR coatings is uitgevoerd, er was slechts één type aanwezig, mag geconcludeerd worden dat de hydrofobe AR coating geen positieve bijdrage heeft geleverd op de transmissie in gecondenseerde toestand.
Het is dan ook aan te bevelen de oorzaak van dit lichtverlies ten gevolge van de condensatie weg te nemen dan wel om te zetten in een eventuele lichtwinst zoals die wel voor de referentie kas met helder glas en een condensatie film geldt. Denk hierbij bijvoorbeeld aan maatregelen die het kasdek hydrofiel in plaats van hydrofoob maken. Om het effect te testen, kunnen tests met schoonmaakmiddelen die de oppervlaktespanning verlagen, gedaan worden. Hierbij is het van belang om deze test eerst op kleine schaal uit te voeren en de resultaten in het laboratorium door te laten meten voordat er onomkeerbare beslissingen genomen worden.
Bij aanpassingen in de kasconstructie, is het belangrijk de gevolgen hiervan op de transmissie vooraf door te rekenen. Daarbij is het van belang het definitieve ontwerp zoals deze uiteindelijk gebouwd gaat worden in ogenschouw te nemen.

4 Literatuur

Verkerke, W., F. Kempkes en E. Poot, 2014. Ontwerp van twee energiezuinige kasconcepten; iteratief proces van rekenen en discussiëren aan de hand van Kaspro. Rapport GTB-1286. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Dueck, T.A. ; Janse, J. ; Kempkes, F.L.K. ; Li, T. ; Elings, A. ; Hemming, S., 2012A. Diffuus licht bij tomaat. Rapport GTB-1158. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Dueck, T.A. ; Janse, J. ; Moerenhout, S. , 2012B. Condens op diffuus glas: Invloed op lichttransmissie? Rapport / Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk. - p. 19.