Meetprotocol voor lichttransmissie van materialen met condens

Gert-Jan Swinkels, Bram van Breugel en Ilias Tsafaras

Rapport GTB-1438

Referaat

Het meten van de lichttransmissie van tuinbouwglas is voor de sector een standaard procedure geworden. Dit gebeurt altijd op basis van droog glas. De transmissie verandert echter (sterk) bij condensatie aan de binnenkant van het glas. Zo neemt de transmissie van traditioneel tuinbouwglas gewoonlijk af omdat zich bij condensatie vaak druppeltjes vormen die meer licht reflecteren terwijl bij sommige type diffuus glas of glas met hydrofiele oppervlaktebehandelingen de transmissie juist kan toenemen. Omdat een kasdek gedurende een groot deel van het jaar nat is aan de binnenkant is het belangrijk om met een gestandaardiseerde meting de verandering in transmissie te kunnen bepalen. In dit onderzoek is de basis gelegd voor een meetprotocol en bijbehorende apparatuur waarmee het effect van condensatie op de hemisferische lichttransmissie op een gestandaardiseerde manier gemeten kan worden. Het protocol gaat uit van een natuurlijke condens die gerealiseerd wordt door de juiste combinatie van temperatuur en luchtvochtigheid en een materiaal dat onder een helling ligt gelijk aan een praktijkkas. Hierdoor wordt ook het natuurlijke proces van afvloeien van condensaat meegenomen. De resultaten laten zien dat de transmissie van traditioneel helder ongecoat (nieuw) tuinbouwglas ca. 3%-punt lager wordt terwijl het effect op het gedrag van (het beperkt aantal) onderzochte typen diffuus glas wisselt tussen -1%-punt tot +1.5%-punt.

Abstract

Measuring the light transmittance of greenhouse covering materials has become a standard procedure for the horticultural industry. This measurement is based on dry materials. However, transmittance changes (strongly) when water condenses on the inside of the material. For example, transmittance of traditional clear non-diffusing greenhouse glass usually decreases because the condensed droplets tend to reflect the light instead of transmit it, while some varieties of diffuse glass could increase light transmittance. Because a greenhouse is wet on the inside during a large period of the year it is important to be able to measure transmission with a standardized protocol. In this research a measurement protocol and associated equipment are developed for determining the effect of condensation on the hemispherical light transmission in a standardized way.

The protocol is based on natural condensation on a material under a slope according to common greenhouse roof slopes, which is forced by a combination of temperature and humidity. In this way the natural process of draining of condensate is taken into account. The results show that the transmission of traditional clear uncoated (new) horticultural glass drops with about 3%-points while the effects on the behaviour of the tested types of diffuse glass vary between -1%- point up to + 1.5%-point.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1438

Projectnummer: 3742217100

DOI nummer: 10.18174/415351

Disclaimer

© 2017 Wageningen Plant Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), 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.wur.nl/plant-research. Wageningen Plant Research.

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 University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Theoretisch kader	9
2.1	Begrippen en definities	9
2.2	Eerder onderzoek	10
2.2.1	Metten van lichttransmissie	10
2.2.2	Condensgedrag in relatie tot luchtvochtigheid	10
2.2.3	Condensatie en lichttransmissie	11
3	Onderzoeksopzet en uitvoering	13
3.1	Doel van het project	13
3.2	Meetopstelling	13
3.2.1	Programma van eisen	13
3.2.2	Meetmethode	14
3.2.3	Ontwerp	15
3.2.4	Implementatie	17
3.2.5	Besturingsoftware	20
3.3	Testen	20
3.3.1	Klimaatcondities	20
3.3.2	Belichting integrerende bol	23
3.3.3	Koeling integrerende bol	24
3.3.4	Dubbelzijdig natte meting	24
3.4	Opzet metingen	24
3.4.1	Procedure	24
3.4.2	Geselecteerde materialen	26
4	Resultaten	27
4.1	Metingen	27
4.1.1	Algemeen	27
4.1.2	Resultaten per materiaal	28
4.2	Protocol	34
4.2.1	Meetapparatuur	34
4.2.2	Monsternamen	34
4.2.3	Meting	34
4.2.4	Classificatie	35
5	Conclusies	37
5.1	Materialen	37
5.2	Meetprotocol	38
6	Aanbevelingen	39
	Literatuur	41

Samenvatting

De lichttransmissie van kasdekmaterialen heeft een directe relatie met de hoeveelheid natuurlijk licht die benut kan worden door het gewas in een kas. Om deze reden is het meten van de lichtdoorlaat van kasdekmaterialen voor de sector een standaard procedure geworden voor productvergelijking en kwalificatie. Voor standaardisatie van deze meting voor helder glas is in 1990 de Nederlandse norm NEN 2675 beschikbaar gekomen. Deze norm wordt dit jaar herzien wat betekent dat de norm ook voor diffuus en gecoat glas en schermen gaat gelden. Wat blijft is dat de norm is gebaseerd op het meten van droge materialen. De transmissie verandert echter (sterk) bij condensatie aan de binnenkant van het glas. Zo neemt de transmissie van traditioneel tuinbouwglas gewoonlijk af omdat zich bij condensatie vaak druppeltjes vormen die meer licht reflecteren terwijl bij sommige type diffuus glas of glas met hydrofiele oppervlaktebehandeling de transmissie juist kan toenemen. Omdat een kasdek gedurende een groot deel van het jaar nat is aan de binnenkant is het belangrijk om met een gestandaardiseerd meetprotocol het effect van condensatie op de lichttransmissie te kunnen bepalen.

In het verleden zijn een aantal studies gedaan naar de effecten van condensatie op de eigenschappen van materialen in het algemeen. Alhoewel in deze studies de effecten van condensatie duidelijk zijn aangetoond, zijn er een aantal kenmerken waardoor de resultaten hiervan niet of minder geschikt zijn voor de vertaalslag naar een robuust meetprotocol dat geschikt is voor karakterisering van kasdekmaterialen. Zo is er in sommige studies monochromatisch licht gebruikt in plaats van PAR (Pollet, 2000), is alleen de transmissie voor loodrecht licht gemeten (Briscoe 1991), is er niet onder een dakhelling gemeten die gangbaar is voor praktijkkassen (Hsieh, 1975; Briscoe 1991; Pieters, 1997; Pollet, 200,2002,2005) en zijn alleen heldere materialen gemeten (Hsieh, 1975; Briscoe 1991). In andere studies werd een relatief complexe meetopstelling gebruikt, waardoor experimenten lang duurden en kostbaar waren (Stanghellini *et al.* 2010). Uit recent onderzoek in een proefkas is gebleken dat het erg moeilijk en kostbaar is om het effect van condensatie op een stabiele manier in een praktijkopstelling te meten (Kempkes *et al.* 2015). Ook uit o.a. labonderzoek is gebleken dat het aanbrengen van water op een materiaal, anders dan het natuurlijke condensatieproces, niet hetzelfde is als condensatie op een kasdek. Dit betekent dat voor een representatieve meting condensatie opgewekt zal moeten worden onder dezelfde omstandigheden als in een praktijkkas.

De meetopstelling die voor dit doel ontworpen is gaat uit van een meting van de reflectiewaarde waaruit de verandering van de hemisferische transmissie ten gevolge van condensatie kan worden afgeleid door aan te nemen dat de lichtabsorptie niet significant verandert door condensatie. De hemisferische reflectie wordt met een integrerende bol gemeten aan de droge kant van het materiaal. Dit maakt de technische uitvoering eenvoudiger dan het meten van de hoekafhankelijke transmissie (met daaruit afgeleid de hemisferische transmissie) waarop de NEN 2675 gebaseerd is. Verder is de hoek van het monster instelbaar, is de meetopstelling geschikt voor enkellaags helder en diffuus glas, kunnen ook monsters met grote afmetingen gemeten worden en neemt een meting maximaal 1 dagdeel in beslag waarbij de meetopstelling vrijwel continu autonoom meet. Met de meetopstelling is een basis gelegd voor een mogelijke standaard meting.

Op basis van metingen aan standaard helder glas en een beperkt aantal verschillende soorten diffuus glas kunnen een aantal conclusies getrokken worden. Het effect van condensatie op de lichttransmissie is sterk afhankelijk van het materiaal. Hierbij spelen de oppervlaktebehandeling en -structuur, (AR) coatings en enkel/dubbelzijdige behandeling duidelijk een cruciale rol. Het onderzochte ongecoate heldere glas presteert sterk negatief. Het onderzochte diffuse glas presteert wisselend, van positief tot negatief. Voor de onderzochte materialen is geen structureel materiaalonderzoek gedaan waardoor geen zekerheid gegeven kan worden over de structuur en eventuele coatings. Hierdoor kan geen eenduidig verband gelegd worden tussen effect van condensatie op de transmissie en type structuur of coating. Van sommige materialen is het lastiger om het meetresultaat te reproduceren dan van andere; de spreiding tussen de verschillende metingen is bij deze materialen groter. Mogelijk wordt de belangrijkste invloed factor hierin, de mate van hydrofiliciteit van het materiaal, beïnvloedt door omstandigheden waarvan deze invloed niet bekend is, zoals de opslag en preparatie van het materiaal. Analyse van deze invloeden valt buiten de scope van dit project maar het verdient aanbeveling om dit in een eventueel vervolgproject te onderzoeken.

Met het opgestelde meetprotocol en bijbehorende meetopstelling is condensatie realistisch na te bootsen. Omdat het theoretische effect van condensatie op de lichttransmissie sterk afhankelijk is van factoren als hydrofiele/ hydrofobe karakter van het oppervlak, temperatuur en (lucht)vochtigheid tijdens opslag van het monster, leeftijd van het monster, vervuiling en reiniging kunnen bij herhaalde metingen aan hetzelfde monster verschillende resultaten opleveren. Dit is een belangrijke conclusie waarmee rekening gehouden moet worden bij een 'natte' meting. In het meetprotocol zal hiermee rekening mee gehouden moeten worden door een passende meetonzekerheid af te geven en de opslag en preparatie van monsters zodanig uit te voeren dat de meting reproduceerbaar is.

Voorgesteld wordt om een classificatiesysteem te hanteren voor het effect op transmissie van glas. In dit classificatiesysteem worden materialen met een verschil tussen droog en nat groter dan 2%-punt als 'sterk positief/negatief' aangeduid, als 'licht positief/negatief' bij een verschil tussen 0.5 en 2 %-punt en als 'neutraal' bij een verschil < 0.5%.

Het wordt aan producenten aanbevolen om gericht materiaalonderzoek te doen van de interactie van structuren en oppervlaktebehandelingen met de eigenschappen van natte glazen. Afhankelijk van diverse materiaaltypes moet ook de gevoeligheid voor de opslagcondities en preparatie van het monster voorafgaande aan de meting (schoonmaken, drogen) verder worden onderzocht.

Dit onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage vanuit het programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma van het ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland en mede gefinancierd door de Stichting Programmafonds Glastuinbouw.

1 Inleiding

De lichttransmissie van kasdekmaterialen heeft een directe relatie met de hoeveelheid natuurlijk licht die benut kan worden door het gewas in een kas. Om deze reden is het meten van de lichttransmissie van kasdekmaterialen voor de sector (telers en producenten) een standaard procedure geworden voor productvergelijking en kwalificatie. Voor standaardisatie van deze meting is bijna 30 jaar geleden de Nederlandse norm NEN 2675 geïntroduceerd die de transmissiemeting van helder vlakglas voor tuinbouwkassen beschrijft (NEN, 1990). Met de komst van nieuwe materialen (diffuus, gecoat) is door TNO en Wageningen UR een nieuw meetprotocol ontwikkeld voor het meten van alle kasdekmaterialen waaronder ook diffuse materialen (Ruigrok, 2008), waarin het meten van de hemisferische lichttransmissie en de haze van (droge) materialen onder gestandaardiseerde omstandigheden is beschreven. Ten tijde van het verschijnen van dit rapport wordt er gewerkt aan de herziening van de NEN 2675 om ook van diffuse en gecoate materialen en schermen de optische eigenschappen te kunnen karakteriseren.

De optische eigenschappen van kasdekmaterialen veranderen echter wanneer er sprake is van condensatie aan de binnenkant van de kas en/of regen aan de buitenkant. Zo neemt de transmissie soms af bij druppelvorming op vlakglas en of op hydrofobe materialen maar neemt deze soms toe bij materialen met een bepaalde oppervlaktestructuur en of met een hydrofiele coating. Ook de lichtverstrooiing van diffuse materialen wordt soms beïnvloedt door condens. Omdat een enkellaags kasdek een groot gedeelte van de tijd nat is aan de binnenzijde (in Nederlandse kassen zijn kasdekken tijdens de lichtarme wintermaanden bijna altijd nat), is het belangrijk de lichttransmissie te weten onder deze natte omstandigheden, zeker ook omdat dan de hoeveelheid natuurlijk licht vaak beperkt is.

Om deze reden is er behoefte ontstaan aan een gestandaardiseerde meting voor het meten van kasdekmaterialen met condensatie voor materiaalvergelijkingen onder gestandaardiseerde omstandigheden. In dit rapport zijn de resultaten beschreven van onderzoek naar het ontwikkelen van een betrouwbaar en robuust meetprotocol en bijbehorende meetapparatuur voor het bepalen van de lichttransmissie van kasdekmaterialen die nat zijn ten gevolge van condensatie.

Dit onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage vanuit het programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma van het ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland en mede gefinancierd door de Stichting Programmafonds Glastuinbouw.

2 Theoretisch kader

2.1 Begrippen en definities

Relatieve luchtvochtigheid (RH)

De relatieve luchtvochtigheid, in procenten, geeft aan hoeveel waterdamp zich in de lucht bevindt ten opzichte van de maximale hoeveelheid waterdamp. Lucht kan bij temperaturen onder het kookpunt van water slechts een beperkte hoeveelheid waterdamp bevatten die af hangt van de temperatuur en de luchtdruk. Als lucht meer waterdamp zou bevatten zou condensatie op gaan treden.

Dauwpunt

De temperatuur waarbij bij gelijkblijvende dampdruk condensatie optreedt. Koude lucht kan minder waterdamp bevatten dan warme lucht en raakt bij voldoende isobare afkoeling verzadigd met waterdamp, de relatieve luchtvochtigheid wordt 100%

Natteboltemperatuur

De laagste temperatuur die een nat voorwerp, dat zich in een luchtstroom bevindt, krijgt ten gevolge van het verdampen van het aanklevende water. Dit moet adiabatisch plaatsvinden, dat wil zeggen zo snel dat er geen sprake is van warmte-uitwisseling met de omgeving. Door deze temperatuur te vergelijken met de gewone temperatuur kan de luchtvochtigheid worden bepaald.

PAR

Photosynthetically active radiation (PAR). licht met een golflengte tussen 400 en 700 nm.

Spectrale reflectie

Het deel van hemisferisch invallend licht dat door een materiaal gereflecteerd wordt waarbij de waarden golflengteafhankelijk bekend zijn.

Hemisferische absorptie, A_{hem}

Het volgens de spectrale energiedichtheid van zonnestraling en relatieve gevoeligheidsfunctie uit NEN2675 gewogen gemiddelde van de spectrale absorptie in het PAR gebied.

Hemisferische reflectie, R_{hem}

Het volgens de spectrale energiedichtheid van zonnestraling en relatieve gevoeligheidsfunctie uit NEN2675 gewogen gemiddelde van de spectrale reflectie in het PAR gebied.

Hemisferische transmissie, T_{hem}

Het volgens de spectrale energiedichtheid van zonnestraling en relatieve gevoeligheidsfunctie uit NEN2675 gewogen lichtdoorlatendheid. In dit onderzoek wordt deze waarde afgeleid uit de diffuse reflectie.

Condensverschil, ΔT_{hem}

De verandering in T_{hem} ten gevolge van condensatie in procentpunten.

Referentiemeting

Meting van R_{hem} zonder monster.

Nulmeting

Meting van R_{hem} met een droog monster.

2.2 Eerder onderzoek

2.2.1 Meten van lichttransmissie

De huidige norm voor het meten van de lichtdoorlatendheid van kasdekmaterialen is de NEN 2675. Deze norm geldt voor niet- of slechts in beperkte mate lichtverstrooiende enkelvoudige of meervoudige vlakglasproducten en is gebaseerd op het meten van de PAR-transmissie voor loodrechte inval (evenwijdig aan de normaal van het oppervlak). De keuze om de norm te beperken voor deze producten is gemaakt omdat destijds nauwelijks andere materialen dan deze toegepast werden. De keuze om uit te gaan van loodrechte inval is gemaakt omdat deze meting goed en relatief eenvoudig is uit te voeren met commercieel verkrijgbare apparatuur.

In Nederland bestaat de jaarlijkse globale straling echter voor twee derde uit diffuus licht. Daarnaast valt het directe licht gedurende een dag (een jaar) onder veel verschillende invalshoeken op het kasdek zodat gemiddeld genomen een nauwe correlatie bestaat tussen de lichthoeveelheid in de kas en de hemisferische lichttransmissie van het kasomhullingsmateriaal.

In de praktijk is onder Nederlandse omstandigheden dan ook vooral de transmissie voor hemisferisch invallend licht bepalend voor de lichtopbrengst in de kas. Voor niet-verstrooiend glas zonder oppervlaktebehandelingen geldt een vaste correlatie tussen de transmissie voor loodrecht invallend licht en die voor hemisferisch invallend licht op basis van de brekingsindex van het materiaal. Aangezien de brekingsindex van tuinbouwglas van fabrikant tot fabrikant nauwelijks verschilt, biedt de loodrechte transmissie een representatieve waarde op grond waarvan glas van verschillende leveranciers eerlijk kan worden vergeleken.

Met de introductie van nieuwe typen kasdekmaterialen zoals diffuus glas voldoet de huidige norm niet meer. Om een goede vergelijking van deze materialen mogelijk te maken moet de hemisferische transmissie worden bepaald. In 2008 werd door Wageningen UR en TNO een meetprotocol ontwikkeld voor het bepalen van de lichttransmissie van kasdekmaterialen (Ruigrok, 2008). Daaropvolgend werd in 2012 door Wageningen UR en een aantal schermbedrijven een meetprotocol voor het bepalen van de lichttransmissie van schermmaterialen opgesteld (Swinkels, 2013). Beide documenten zijn gepubliceerd en beschikbaar gesteld voor kennisinstellingen en industrie. Op dit moment wordt er gewerkt aan de herziening van de NEN 2675 om ook van diffuse en gecoate materialen en schermen de optische eigenschappen te kunnen karakteriseren. Hierop sluit dit project aan.

2.2.2 Condensgedrag in relatie tot luchtvochtigheid

Condensatie is de faseovergang van gas- of damp-vorm naar vloeistof. Wanneer warme, vochtige lucht afkoelt tot onder het dauwpunt, zal de waterdamp in deze lucht condenseren. Een condensatiereactie is een reactie waarbij moleculen zo reageren, dat er grotere moleculen ontstaan, maar tegelijkertijd een klein molecuul wordt afgesplitst, meestal een watermolecuul. Glas bestaat onder andere uit een silicium oxide netwerk dat aan het oppervlak wordt beëindigd met een hydroxyl groepen. Aan het oppervlak kan glas dus gemakkelijk waterstofbruggen vormen met water moleculen, door de sterkte van deze waterstofbruggen zal een deel van het oppervlak bedekt zijn met een of enkele monolagen H_2O , zelfs op kamer temperatuur bij een lage luchtvochtigheid. Zo is de opbouw van geadsorbeerd water afhankelijk van de luchtvochtigheid in kaart gebracht (Asay, 2005). In dit onderzoek is aangetoond dat in het traject van 0 tot 30% luchtvochtigheid zich 3 monolagen opbouwen in een ijs achtige structuur. Van 30 tot 60% RV vormt zich een transitie laag die zich steeds meer als een vloeibare laag gaat gedragen en boven de 60% RV neemt de geadsorbeerde waterlaag toe in dikte terwijl deze zich volledig als vloeibare laag gedraagt. Deze initiële ijsachtige laag heeft tevens een hoger oppervlaktespanning dan geadsorbeerd water in vloeibare toestand, waardoor ook veranderingen in de contacthoek te verwachten zijn die een waterdruppel maakt met het glasoppervlakte.

Door Jańczuk wordt een indicatie gegeven van hoe snel de oppervlakte adsorptie van water plaats vindt (Jańczuk, 1984). Hier zijn volledig droge kwarts monsters in een omgeving met een hoge RV gebracht en is de contacthoek met water over de tijd heen gemeten. Deze liep initieel over een periode van 30 minuten op van 11 naar 52 graden en na een periode van 24 uur in deze omgeving werd een contacthoek met water gemeten van 24 graden.

Zo is ook aangetoond dat de isotherme adsorptiecurve van water op glaspoeder en glaswol afhankelijk is van de methode van drogen voorafgaande aan het meten (Razouk, 1947). Dit werd verklaard door de volledige verwijdering van aan het oppervlak geadsorbeerd water wanneer er op temperaturen van meer dan 200 graden werd gedroogd waardoor het glasoppervlak moeilijker nat werd.

Op basis van bovenstaande kan gesteld worden dat de luchtvochtigheid van de lucht waaraan een materiaal gedurende langere tijd (bijvoorbeeld tijdens opslag) wordt blootgesteld de contacthoek en daarmee het hydrofiele/hydrofobe karakter van een materiaal kan beïnvloeden. Dit betekent dat bij het meten van het effect van condensatie op de lichttransmissie van een materiaal rekening gehouden moet worden met het feit dat de omstandigheden voorafgaande aan de meting het meetresultaat kunnen beïnvloeden.

2.2.3 Condensatie en lichttransmissie

In het verleden zijn een aantal studies gedaan naar de effecten van condensatie op de eigenschappen van materialen in het algemeen. Hieronder is een overzicht gegeven van het belangrijkste onderzoek.

Hsieh, 1975.

The effect of dropwise condensation on glass solar properties.

In dit onderzoek is theoretisch onderzoek gedaan middels modellen naar het effect van waterdruppels op de eigenschappen van glas.

Briscoe, 1991.

The effect of surface fog on the transmittance of light.

In dit onderzoek is theoretisch aangetoond dat een oppervlakte-nevel de transmissie van normaal invallend licht van transparante materialen kan verlagen tot 50%. Dit resultaat is ook experimenteel bevestigd door reflectiemetingen. De belangrijkste parameter is de contacthoek die de druppeltjes maken met het oppervlak. Voor een contacthoek minder dan ongeveer 40° is er vrijwel geen verlies in transmissie bij loodrechte lichtinval. Voor grotere contacthoeken is er een significante afname in de transmissie, met het slechtste geval optredende voor een contact hoek van 90°.

Pieters, 1997.

Light transmission through condensation on glass and polyethylene.

In dit onderzoek zijn laboratoriummetingen van de lichtdoorlatendheid van droog en door condensatie bedekt glas en polyethyleen uitgevoerd. Voor een meer nauwkeurige beschrijving van de invloed van condensatie op de radiometrische eigenschappen van bekledingsmaterialen is een model ontwikkeld voor de simulatie van lichttransmissie. Hierbij is uitgegaan van condensatie zonder afvloeien van condens.

Pollet, 2000.

Condensation and radiation transmittance of greenhouse cladding materials, part 3: Results for glass plates and plastic films.

In dit onderzoek werd onder laboratoriumomstandigheden de hoekafhankelijke transmissie tot 60° van verschillende materialen gemeten met behulp van monochromatisch licht. Condensatie gaf afnames in transmissie tot 13-15% bij invalshoeken van 50-65°. De verschillen in transmissie tussen de verschillende materialen werden vooral veroorzaakt door de vorm van de druppels.

Pollet, 2002.

Impact of water drops on the visible radiation transmittance of glazings under outside radiant conditions.

In dit onderzoek is experimenteel de hoekafhankelijke transmissie voor zichtbaar licht bepaald van o.a. enkel glas met condensatie. Hiermee is de hemisferische transmissie uitgerekend.

Pollet, 2005.

Diffusion of radiation transmitted through dry and condensate covered transmitting materials.

In dit onderzoek is met een goniometer gekeken naar de effecten van condens op de lichtverstrooiing van materialen.

Stanghellini, 2010.

Condensatie tegen het kasdek: Licht- en energie-effecten van condensatie op acht kasdekmaterialen. In dit project zijn de lichtdoorlatendheid en de energie-effecten van acht kasdekmaterialen in een meetopstelling onderzocht. In een klimaatruimte is een kleine kas gebouwd om het effect van condensatie tegen het kasdek te bepalen. Met deze kas is de lichttransmissie en de energiehuishouding van acht gangbare dekmaterialen bepaald. De kasdekmaterialen werden onderzocht bij verschillende temperatuurverschillen tussen binnen en buiten en bij twee verschillende luchtcirculatiesnelheden in de kas. De hemisferische transmissie werd afgeleid uit een reflectiemeting voor diffuus licht. De meetopstelling gebruikt in dit project is niet geschikt voor een eenvoudige, snelle en gestandaardiseerde manier van het bepalen van de lichttransmissie van natte materialen. Dit viel ook niet binnen de doelstellingen van het project. In deze meetopstelling waren grote glasplaten nodig en duurde de meting meerdere dagen. Het onderzoek was ook niet specifiek gericht op diffuus glas, aangezien dit toen nog nauwelijks commercieel beschikbaar was.

Kempkes, *et. al.* 2015.

Verbetering lichtinval winterlicht.

Als deelproject zijn in een kasexperiment van een vijftal verschillende ruiten de effecten van condensatie op de transmissie van het glas bepaald. Naast standaard glas zijn verschillende diffuse materialen, met structuur en geëtsd met verschillende AR-coatings, toegepast. Condensatie trad op een natuurlijk manier op aan de binnenkant van de materialen. Een deel van de glazen werd continue droog geblazen. Lichtsensoren werden geplaatst onder het droge en natte gedeelte om een inschatting van de verschillen in natte en droge toestand te kunnen maken. Tijdens deze proef werd geen materiaalonderzoek onder geconditioneerde omstandigheden uitgevoerd. Het doel was een inschatting van de order van grootte van de te behalen winst door sommige diffuse glazen met condensatie in de wintermaanden. Deze methode is erg bewerkelijk, kent een lange doorlooptijd en door de beperkte conditioneringsmogelijkheden zijn oorzaak en gevolg in de meetresultaten niet altijd eenduidig. Een grote spreiding (die bij diffuse glas groter was dan bij het heldere glas) gaf aan dat de metingen ergens door worden beïnvloed. De metingen waren niet goed reproduceerbaar en de oorzaak hiervan is onduidelijk wat het moeilijk maakte om de resultaten te duiden en tot conclusies te komen. De belangrijkste conclusies die wel getrokken konden worden waren dat standaard tuinbouwglas nat een lagere transmissie heeft dan onder droge omstandigheden en dat dit bij alle onderzochte types diffuus glas andersom was, dus nat hoger dan droog.

Alhoewel in bovengenoemd onderzoek de effecten van condens duidelijk aangetoond heeft zijn er een aantal (combinaties van) uitgangspunten waardoor de resultaten hiervan niet of minder geschikt zijn voor de vertaalslag naar een robuust meetprotocol dat geschikt is voor karakterisering van kasdekmaterialen:

- Er is gebruik gemaakt van monochromatisch licht (één golflengte) in plaats van het PAR spectrum.
- Alleen de transmissie voor loodrecht licht is gemeten.
- Er is gemeten aan druppels zonder te kijken naar een stabiele situatie zoals die in een kas optreedt met het afvloeien van condens.
- Er is niet gemeten onder een voor een Venlo-kas gangbare dakhelling.
- Alleen heldere materialen zijn gemeten.
- Het ontwikkelen van een meetprotocol behoorde niet tot de doelstelling.

Uit onderzoek van Kempkes (2015) is gebleken dat het erg moeilijk is om in de praktijk (in een proefkas) het effect van condensatie te meten. Gezien de relatief kleine verschillen zal bij praktijkmetingen meer een verschil in orde grootte aangetoond kunnen worden in plaats van reproduceerbaarheid. Maar er is juist behoefte aan vergelijkende en reproduceerbare metingen van materialen waarvoor geconditioneerde omstandigheden nodig zijn.

3 Onderzoeksopzet en uitvoering

3.1 Doel van het project

De primaire doelstelling van het project is een onderzoek naar de haalbaarheid van een meetprotocol voor het bepalen van de lichttransmissie van kasdekmaterialen met condens. Deze doelstelling kan opgesplitst worden naar een aantal onderdelen:

Technisch:

- Ontwerpen van een meetopstelling.
- Het bepalen van de condities voor het realiseren van condensatie (temperatuur, luchtvochtigheid).
- Opwekken van natuurlijke condensatie zoals die ook in een praktijkkas optreedt.
- Ontwikkelen van een betrouwbaar en robuust meetprotocol voor kasdekmaterialen met condens onder gestandaardiseerde omstandigheden.
- In kaart brengen van het effect van condensatie op de hemisferische lichttransmissie van een aantal verschillende typen glas.

Energetisch:

- Zorgen voor de mogelijkheid voor glasfabrikanten waarmee zij hun producten kunnen ontwikkelen op praktijkomstandigheden; condensatie tijdens de lichtarme winterperiode.
- Verhogen van de energie-efficiëntie met maximaal 5% door meer gebruik van natuurlijk (winter)licht.
- Verlagen van het absolute energieverbruik doordat bij gelijke lichtsom minder hoeft te worden belicht waardoor het elektriciteitsverbruik en de warmtevraag zullen afnemen door de extra toetreding van de zonne-energie.

Aan het einde van het project zal het meetprotocol aan de sector en toeleverende industrie beschikbaar worden gesteld.

3.2 Meetopstelling

3.2.1 Programma van eisen

Uit de ervaringen in eerder onderzoek (Stanghellini, 2010) is gebleken dat het aanbrengen van water op een materiaal, anders dan het natuurlijke condensatieproces op basis van verzadigde lucht, geen representatieve condenslaag hoeft op te leveren. Dit betekent dat condensatie opgewekt zal moeten worden onder dezelfde omstandigheden als in een praktijkkas. Concreet houdt dit in dat aan de ene kant van het materiaal vochtige lucht moet worden aangebracht bij een materiaaltemperatuur onder het dauwpunt en dat aan de andere kant van het materiaal (naar de zon gericht) condensatie moet worden voorkomen. Ook de hellingshoek van het materiaal is van invloed op hoe en in welke mate de gevormde druppels zullen worden gevormd en gaan afvloeien.

Het huidige meetprotocol voor droge materialen gaat uit van een integrerende bol en bepaling van de hemisferische transmissie op basis van hoekafhankelijke metingen (TNO, 2010). Dit betekent o.a. de introductie van vocht en klimaatbeheersing in een integrerende bol wat een aantal technische implicaties met zich meebrengt en waarvoor een ontwikkelingstraject gestart zou moeten worden dat buiten de mogelijkheden van dit project valt. Een alternatieve oplossing voor een hemisferische meting is het meten van de hemisferische reflectie van het materiaal (R_{hem}), iets wat ook al eerder gedaan is (Stanghellini, 2010). De hemisferische reflectie wordt ook met een integrerende bol gemeten maar dan aan de droge kant van het materiaal omdat dit de licht-zijdige kant is. Meten van de reflectie is technisch minder complex omdat de klimaatbeheersing aan de natte zijde aan de andere kant van het glas gedaan kan worden dan waar gemeten wordt. Ook hoeft niet onder hoeken gemeten te worden wat de methode minder complex maakt.

Omdat in de praktijk, zeker in de winter, het kasdek continu nat is door condensatie is de condenslaag in een evenwichtssituatie waarin er continu condenswater afvloeit. Om tot een meetwaarde te komen die hiermee te vergelijken is zal ook bij de meting uiteindelijk tot een stabiel proces van afvloeien gekomen moeten worden. De resulterende R_{hem} en de daaruit afgeleide ΔT_{hem} zal dan bepaald moeten worden uit de laatste (reeks) metingen van deze stabiele situatie.

Met de meetopstelling moet kunnen worden aangetoond dat de doelstelling kan worden bereikt. Dit betekent dat niet alle onderdelen uitontwikkeld moeten zijn en dat deze een prototype voor een uiteindelijk commercieel aan te bieden meting mag zijn.

Op basis van bovenstaande is het volgende programma van eisen opgesteld:

- De te bepalen grootte is de verandering van de hemisferische transmissie ten gevolge van condensatie (ΔT_{hem}).
- De verandering van hemisferische transmissie wordt afgeleid uit de reflectie en de lichtabsorptie. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de lichtabsorptie niet veranderd door condensatie (zie § 3.2.2).
- De reflectie wordt spectraal gemeten en wordt gemiddeld naar PAR volgens de spectrale energiedichtheid van zonnestraling en relatieve gevoeligheidsfunctie uit NEN 2675.
- Condensatie moet worden veroorzaakt door het creëren van een glastemperatuur onder het dauwpunt en bij temperaturen zoveel mogelijk analoog aan de praktijksituatie in de kas.
- De hoek van het monster met horizontaal (dakhelling) is instelbaar.
- De meetopstelling moet geschikt zijn voor enkellaags helder en diffuus glas van maximaal 5 mm dikte.
- De meetopstelling moet geschikt zijn voor monsters (van gehard glas) met afmetingen die in de praktijk gebruikt worden en die in kleinere stukken gesneden kunnen worden.
- De meetopstelling moet compact genoeg zijn om in een gemiddeld laboratorium te kunnen gebruiken.
- De duur van een meting mag niet langer zijn dan een dagdeel.
- De meetopstelling mag een prototype voor een uiteindelijk commercieel aan te bieden meting zijn.

Naast condensatie aan de binnenzijde van het kasdek materiaal kan het materiaal ook aan de buitenzijde nat zijn door neerslag. Hoewel dit veel minder vaak voor komt dan condensatie is onderzocht in hoeverre deze meting technisch te combineren is met de condensatiemeting.

3.2.2 Meetmethode

De meetopstelling is gebaseerd op het gegeven dat de hemisferische transmissie T_{hem} is af te leiden uit de totale reflectie voor hemisferisch licht (R_{hem}) bij een gegeven lichtabsorptie (A_{hem}). Voor de meeste soorten (diffuus) glas die gangbaar zijn voor de Nederlandse glastuinbouw (afgezien van spectrale filtering van b.v. nabij infrarood) geldt dat A_{hem} beperkt is tot ca. 4% bij glas met een dikte van 4 mm. De lichtabsorptie wordt naast de chemische eigenschappen bepaald door de gemiddelde afstand die het licht door het glas aflegt, dus door de dikte van het glas en de hoek van inval van het licht. Omdat de meting gebaseerd is op hemisferische (diffuus) invallend licht is zowel het invallende als gereflecteerde licht diffuus waardoor geen significante verschillen in gemiddelde invalshoek en daarmee padlengte ten gevolge van condensatie te verwachten zijn. Voor puur water is de absorptie in het PAR gebied ca. 0.14/m (Pope, 1997) wat volgens de absorptietheorie van Beer-Lambert neerkomt op $(1 - 10^{-0.14 \times 0.001}) \times 100 = 0.032\%$ A_{hem} per mm water. Dit betekent dat zelfs bij forse druppelvorming en een gemiddelde laagdikte van ca. 3 mm de extra absorptie beperkt blijft tot 0.1% waardoor het de verandering van de lichtabsorptie ten gevolge van condensatie kan worden verwaarloosd.

Voor het bepalen van R_{hem} moet de integrerende bol vooraf gekalibreerd worden. De kalibratiefactor C/f_m wordt door ijking met een bekend monster bepaald volgens:

$$\frac{C}{f_m} = R_{\text{hem}, \text{Cal}, \lambda} \times \frac{I_1}{I_1 - I_0} \quad (1)$$

Waarin:

C	Bolconstante [-]
f_m	Fractionele monsterpoort grootte [-]
$R_{hem, Cal, \lambda}$	Spectrale R_{hem} van het kalibratiemonster [-]
I_0	Spectrale lichtsterkte in bol (4) met open poort [counts]
I_1	Spectrale lichtsterkte in bol (4) met kalibratiemonster [counts]

De spectrale reflectie wordt dan bepaald volgens:

$$R_{hem, \lambda} = \frac{C}{f_m} \times \frac{I_1 - I_0}{I_1} \quad (2)$$

Waarin:

$R_{hem, \lambda}$	Spectrale reflectie van het monster [-]
C/f_m	Kalibratieterm [-]
I_0	Spectrale lichtsterkte in bol (4) met open poort [counts]
I_1	Spectrale lichtsterkte in bol (4) met monster [counts]

Voor eventuele fluctuaties in de lampintensiteit wordt gecorrigeerd door I_1 te vermenigvuldigen met de lichtsterkte in bol (5) tijdens de droge meting gedeeld door de lichtsterkte in bol (5) tijdens het condensatieproces.

Nu de spectrale $R_{hem, \lambda}$ bekend is kan het gewogen gemiddelde R_{hem} in het PAR-gebied bepaald worden volgens de relatieve spectrale energiedichtheid van zonnestraling en de relatieve plantgevoeligheidsfunctie. De procedure hiervoor is beschreven in NEN 2675.

Vervolgens wordt de hemisferische transmissie in het PAR-gebied T_{hem} berekend volgens

$$T_{hem} = 1 - A_{hem} - R_{hem} \quad (3)$$

Waarin:

A_{hem} lichtabsorptie in het PAR-gebied, gewogen naar relatieve spectrale energiedichtheid van zonnestraling en de relatieve plantgevoeligheidsfunctie volgens NEN 2675.

3.2.3 Ontwerp

Op basis van het programma van eisen uit § 3.2.1 is een ontwerp gemaakt (Figuur 1).

In het ondercompartiment (1) met warme en vochtige lucht (natte zijde) heerst een combinatie van temperatuur en relatieve luchtvochtigheid (RV) die nodig is om waterdamp tegen het monster te laten condenseren. In het ondercompartiment hangt een meetbox met droge en natte bol temperatuurmeting waarmee op temperatuur en RV geregeld wordt. Het compartiment is geheel matzwart geverfd ter minimalisering van ongewenst strooilicht door reflecties.

Het ondercompartiment wordt op de ingestelde temperatuur en RV gehouden door in- en uitgaande luchtslangen die gekoppeld zijn aan een externe klimaatunit (12). In deze unit wordt de lucht elektrisch verwarmd en met ultrasone vernevelaars bevochtigd volgens een aan/uit regeling. De lucht wordt met een buisventilator door het ondercompartiment geblazen zodat de lucht goed opgemengd wordt.

Het bovencompartiment (2) (droge zijde) wordt gekoeld door middel van een luchtstroom langs een Peltier element (3). Om een maximaal koelvermogen te halen wordt het Peltier element extern gekoeld met water dat door een thermostaatbad (6) geleid wordt. Het monster wordt luchtdicht geplaatst tussen het onder- en bovencompartiment en aan de zijde van het bovencompartiment gekoeld. Door warmtegeleiding komt de onderzijde van het monster onder het dauwpunt van de lucht in het ondercompartiment waardoor condensatie optreedt. Condenswater wordt in een goot opgevangen en naar een afvoer geleid (10).

In het bovencompartiment is een integrerende bol verzonken (4) met een knife-edge monsterpoort met een diameter van 100 mm. De bol rust met de poort op het monster maar wordt door middel van afstandshouders op 2 mm afstand van het monster gehouden. Dit is nodig om enerzijds de bol op een constante afstand van het monster te houden wat erg belangrijk is voor een accurate reflectiemeting en daarmee de reproduceerbaarheid. Anderzijds moet het gedeelte van het sample direct onder de bol gekoeld kunnen worden tot dezelfde temperatuur als de rest van het monster. Dit gebeurt door koude lucht via de bovenkant van de bol in de bol te pompen en te laten uitstromen tussen de monsterpoort en het monster.

De bol wordt verlicht met een glasvezel (10) die gekoppeld is aan een halogeen lichtbron (9). Om de meting in de tijd te kunnen compenseren voor fluctuaties in de lichtbron wordt ook de directe output van de bron gemeten. Dit kan door de glasvezel bifurcated uit te voeren waardoor een 2^e integrerende bol (5) met hetzelfde bronsignaal verlicht wordt.

Middels glasvezels (10) gekoppeld aan een fotospectrometer (7) worden de lichtsterktes in beide bollen simultaan gemeten. Hierdoor kunnen gedurende de looptijd van de meting de gemeten lichtsterktes in de bol gecorrigeerd worden voor eventuele fluctuaties in de output van de lichtbron.

Het geheel van onder- en bovencompartimenten, lichtbron en spectrometer(s) is opgehangen in een mobiel frame (8) waarvan de hellingshoek van ingesteld kan worden. Op deze manier kan een dakhelling van 23° zoals in de praktijk gebruikt wordt toegepast worden.

De minimale monsterafmetingen zijn 500x500 mm. Voor grotere monsters, die omdat ze bijvoorbeeld gehard zijn en niet versneden kunnen worden, kan een speciaal mobiel frame (9) gebruikt worden.

Figuur 1 Schematisch overzicht van de meetopstelling:

1. Ondercompartiment; 2. Bovencompartiment; 3. Koelelement; 4. Integreerende bol voor reflectiemeting; 5. Integreerende bol voor meten van lampoutput; 6. Waterkoeling via thermostaatbad; 7. Spectrometer(s); 8. Frame; 9. Houder voor grote monsters; 10. Belichting via glasvezels; 11. Opvang condensaat; 12. Klimaatunit voor regeling temperatuur en RV.

3.2.4 Implementatie

Op basis van een eerste ontwerp is de meetopstelling gebouwd in de ontwikkelwerkplaats van Wageningen University & Research. Gaandeweg het project diverse veranderingen aangebracht en verbeteringen doorgevoerd en uitbreidingen gedaan aan het ontwerp.

Onderstaande foto's geven een beeld van de uiteindelijk gerealiseerde meetopstelling.

Figuur 2 Vooraanzicht van de meetopstelling met gesloten (links) en open (rechts) bovencompartiment. Na het plaatsten van het monster wordt het compartiment gesloten en op vaste afstand vergrendeld.

Figuur 3 Klimaatunit met 3 ultrasone verdamperen en een verwarmingsunit geïntegreerd met buisventilator. De verdamperen werken optimaal bij een bepaald waterniveau dat met een externe tank met demiwater op een vast niveau gehouden wordt.

Figuur 4 Ondercompartiment met uitblaas- en aanzuigopeningen vanaf en naar de klimaatunit. Om lokale verschillen in condensatie te voorkomen is het belangrijk dat een vaste luchtstroom tegen een bepaald gedeelte van het monster voorkomen moet worden.

Figuur 5 Geventileerde meetbox met droge- en natte bol temperatuurmeting.

Figuur 6 Onderaanzicht van de monsterpoort van de integrerende bol. Om zuiver hemisferisch licht te creëren wordt het monster middels een "baffle" afgeschermd van direct licht komende vanaf de lichtbron.

3.2.5 Besturingssoftware

De meetopstelling wordt aangestuurd middels een Windows desktop applicatie ontwikkeld in C#. De applicatie draait onder 64 bit Windows 7 .Net framework 4.0.

De applicatie bestaat uit een Grafical User Interface (GUI) voor:

- Monitoring actuele temperaturen van droge en natte bol in boven- en ondercompartiment en omrekening naar de actuele RV in het ondercompartiment.
- Invulvelden voor setpoint en algoritme voor het regelen van de temperaturen en RV.
- Kalibratieprocedure voor de integrerende bol.
- Instellingen voor het meten van de lichtsterkte in de integrerende bol.
- Overzicht van de actuele reflectiewaarde, transmissiewaarde en afwijkingen ten opzichte van de start van de meting.
- Functionaliteit voor het loggen van meetwaarden.

De applicatie beschikt over een regelmodule op basis van een proportionele regeling waarbij de grootte van de output van de regelaar (regelwaarde) bepaald op basis van de afwijking ten opzichte van de ingestelde waarde en de versterkingsfactor. De output is in dit geval aan/uit-schakeling van de elektrische verwarmers, Peltier koeler en vernevelaars volgens het principe van arbeidscyclus. De arbeidscyclus (Engels: duty cycle) is het deel van de periode waarin het signaal actief is. De periode is dan de tijd die het duurt voor een signaal om een aan-en-uit-cyclus te voltooien.

3.3 Testen

3.3.1 Klimaatcondities

De verschillen in klimaatcondities in onder- en bovencompartiment zijn de drijvende kracht achter het condensatieproces. Het kiezen van de optimale condities is gebonden aan een aantal eisen maar ook aan (technische) beperkingen. Hierbij zijn de volgende zaken van belang:

- Omdat het condensatieproces materiaal specifiek is en afhankelijk kan zijn van de absolute temperatuur en luchtvochtigheid moeten de klimaatcondities vergelijkbaar zijn met de situatie in een praktijkkas.
- De temperatuur van het monster moet onder de dauwpunttemperatuur van de lucht in het ondercompartiment liggen. Hoe groter dit verschil is hoe sneller condensatie zal optreden en hoe sneller de condenslaag zal aangroeien.
- Om condensatie op de bovenkant (droge kant) van het monster te voorkomen moet de temperatuur van de bovenkant van het monster boven de dauwpunttemperatuur van het bovencompartiment liggen.
- De RV moet hoog genoeg zijn om het vocht te laten condenseren maar er moet voorkomen worden dat er een optisch zichtbare nevel ontstaat die mogelijk de lichtsterkte in de integrerende bol beïnvloedt.
- Er moet voldoende verdampingscapaciteit zijn om de gewenste RV te realiseren.
- Bij een groot temperatuurverschil tussen ondercompartiment en omgevingslucht kan er ongewenste condensatie optreden tegen de binnenwand waardoor de reflectiewaarde van de wand verandert en waardoor de luchtvochtigheid daalt.
- Er moet voorkomen worden dat er ongewenste condensatie optreedt tegen de binnenwand van de integrerende bol.

Op basis van bovenstaande is een aantal test uitgevoerd voor het bepalen van de meest geschikte klimaatcondities. Er zijn testen uitgevoerd met een RV tot 98%. Onder deze omstandigheden ontstaat een optisch zichtbare nevel die mogelijk de reflectiewaarde van de lucht onder het monster verhoogt ten opzichte van de start RV die gelijk is aan de omgevings-RV. Uiteindelijk is een RV van 90% ingesteld. Bij deze waarde treedt voldoende condensatie op, ontstaat nauwelijks tot geen zichtbare nevel en het niveau is goed te realiseren en regelen.

Voor het gemiddelde temperatuurverschil in een praktijkkas is uitgegaan van ongeveer 15°C (DT 5°C buiten en 20°C binnen). Bij een temperatuur van 25°C in het ondercompartiment is de RV van 90% goed te realiseren, bij hogere temperaturen wordt dit beduidend lastiger; minder nauwkeurig en het duurt langer totdat deze gerealiseerd is. Ook trad er soms condensatie op aan de binnenzijde van het ondercompartiment wat ongewenst is omdat dit ontvochtigend werkt.

Een temperatuur van 25°C van de warme zijde betekent dat bij een temperatuurverschil van 15°C het bovencompartiment tot 10°C gekoeld moet worden. Het Peltier-element heeft hiervoor genoeg capaciteit maar het neemt relatief veel tijd in beslag (tot 30 min.) om bij een meetopstelling op kamertemperatuur, de lucht in het bovencompartiment terug te koelen naar 10°C. Dit komt door de massa's van het Peltier element, de integrerende bol en het (geïsoleerde) omhullingsmateriaal waaruit het bovencompartiment gemaakt is en de massa van het monster zelf dat op kamertemperatuur ingebracht wordt. Om deze reden wordt minimaal 1 uur voorafgaand aan de meting de koeling ingeschakeld.

Bij het bepalen van de temperatuur van het bovencompartiment moet rekening gehouden worden met het dauwpunt omdat bij de RV van de omgevingslucht (condities meetlab) geen condensatie mag optreden aan de bovenkant (buitenkant) van het monster (Figuur 7). Bij een RV lager dan 50% (Lightlab WUR) blijft de bovenzijde van het monster droog. De werkelijke temperatuur van de bovenzijde van het monster zal hoger liggen dan 10°C door warmtegeleiding vanuit de onderkant van het materiaal dat verwarmd wordt met lucht van 25°C.

Figuur 7 Dauwpunt als functie van de RV van het meetlaboratorium bij een temperatuur van het bovencompartiment van 10°C. Bij een RV tussen de 30 – 40% (Lightlab WUR) blijft de bovenzijde van het monster droog. De werkelijke temperatuur van de bovenzijde van het monster zal hoger liggen dan 10°C door warmtegeleiding vanuit de onderkant van het materiaal dat verwarmd wordt met lucht van 25°C.

Op basis van de gekozen temperaturen en RV is getest hoe nauwkeurig en stabiel deze waarden te realiseren en te regelen zijn. In onderstaande figuren zijn de gerealiseerde temperaturen van beide compartimenten en de RV van het ondercompartiment weergegeven.

Figuur 8 Gerealiseerde temperatuur in het ondercompartiment bij een ingestelde waarde van 25°C. De gewenste temperatuur wordt binnen een bandbreedte van 0.4°C gerealiseerd.

Figuur 9 Gerealiseerde temperatuur in het bovencompartiment bij een ingestelde waarde van 10°C. De temperatuurregeling is zeer nauwkeurig en de gewenste waarde wordt uiteindelijk binnen een bandbreedte van ca. 0.1°C gerealiseerd. De benodigde tijd om tot de gewenste waarde te komen hangt sterk af van de starttemperatuur van het koelwater waarmee het Peltier-element gekoeld wordt. Om deze reden moet de koeling minimaal 1 uur voorafgaand aan de meting worden ingeschakeld.

Figuur 10 De gerealiseerde luchtvochtigheid bij ingestelde waarden van 90% en 98%. Afhankelijk van de cycle-time, waarvan de minimale begrensd wordt door de hardware, wordt door zijn de fluctuaties rondom de ingestelde waarde groter maar liggen binnen ca. $\pm 1\%$ RV.

Uit de tests blijkt dat de proportionele regelaar ruimschoots voldoet en de temperaturen en RV met een smalle bandbreedte rondom de ingestelde waarden regelt. De bandbreedte van de RV-regeling is ca. 1% en wordt begrensd door de hardware. In dit geval zorgt een nog smallere bandbreedte voor een kortere cycle-time en daarmee sneller schakelen wat voor versnelde slijtage van de voeding van de vernevelaars zorgt. In onderstaande tabel zijn de bedrijfstijd en versterkingsfactor van de proportionele regeling weergegeven.

Tabel 1

Instellingen voor de regeling van de temperaturen en luchtvochtigheid.

Unit	Bedrijfstijd	Versterkingsfactor
Koeler	1 sec	0.5°C
Verwarmer	1 sec	0.5°C
Verdamper	10 sec	1%

3.3.2 Belichting integrerende bol

De reflectiemeting in deze opzet is gebaseerd op het meten van de lichtintensiteit in de integrerende bol met en zonder monster voor de monsterpoort. Bij het berekenen van de absolute reflectiewaarde worden deze lichtintensiteiten op elkaar gedeeld. Een belangrijke voorwaarde voor een correcte berekening is dat de lichtsterkte van de lichtbron met en zonder monster gelijk is. Als bijvoorbeeld de intensiteit van de lichtbron hoger is tijdens het meten met monster dan wordt een te hoge reflectiewaarde berekend omdat er een hogere intensiteit gemeten wordt dan die door de reflectie van het monster veroorzaakt wordt.

Gebleken is dat de temperatuur van de lamp een relatief grote invloed heeft op de lichtoutput. Testen met de halogeenlamp rechtstreeks in de integrerende bol lieten zien dat door het plaatsen van het monster de intensiteit sterk terugliep omdat door een veranderde luchtstroom door de bol de lamp sterker gekoeld werd waardoor een halogeenlamp minder licht afgaf. Dit is de reden dat gebruik gemaakt is van een glasfiber waardoor de lamp zelf in een temperatuurstabiele labomgeving geplaatst kan worden en waarbij de lampbehuizing luchtgekoeld wordt middels een ventilator.

Om een nog robuustere meting mogelijk te maken is gekozen voor het separaat meten van lampoutput met een 2^e integrerende bol. Op deze manier worden eventuele fluctuaties in de lampoutput aan de bron zelf gemeten, los van de invloeden van de integrerende bol. De gemeten lichtsterkte in de integrerende bol wordt vervolgens gecorrigeerd voor de gemeten lichtsterkte van de lamp op dat moment.

3.3.3 Koeling integrerende bol

Om met een integrerende bol een juiste reflectiemeting te kunnen doen heeft de monsterpoort een knife-edge zodat randeffecten zoveel mogelijk vermeden worden. Theoretisch moet het monster strak tegen de poort geplaatst worden zonder tussenruimte. Om het monster juist ook ter plaatste van de poort voldoende te koelen wordt de bol actief gekoeld met gerecirculeerde lucht uit het bovencompartiment. De lucht komt door een 10mm kleine poort boven in de bol binnen en verlaat de bol via de ruimte tussen de poort en het monster. Gevolg is dat het monster niet strak tegen de poort geplaatst kan worden maar via afstandshouders op 2 mm afstand gehouden wordt. Dit betekent dat altijd een wat lagere reflectie gemeten wordt dan de werkelijke waarde.

Ook is de gemeten reflectiewaarde sterk afhankelijk van deze afstand. Dit betekent dat tijdens het meten deze afstand constant moet blijven en ook bij herhaalde metingen aan hetzelfde monster moet dezelfde afstand aangehouden moet worden. Dit wordt geborgd door gebruik te maken van de 2mm afstandshouders waardoor de afstand bij elke meting hetzelfde is. Een andere manier van koelen waarbij het monster wel strak tegen de poort geplaatst kan worden zou een oplossing kunnen zijn maar het gedeelte van het monster ter plaatste van de rand van de poort zal dan (veel) minder gekoeld worden waardoor er verschil in condensatiehoeveelheid en -patroon te verwachten is.

3.3.4 Dubbelzijdig natte meting

Onderzocht is de technische haalbaarheid van het meten van het gecombineerd effect van zowel condensatie als neerslag. Hiervoor moet het monster dan ook aan de bovenzijde nat gemaakt worden. Omdat de meting begint met het meten van de transmissie van een aan beide zijden droog materiaal zal het natmaken van de bovenzijde ergens tijdens of aan het eind van de meting moeten gebeuren. Dit betekent dat het bovencompartiment geopend en weer gesloten moet worden om het monster handmatig nat te maken, bijvoorbeeld d.m.v. een plantensproeier. Het is gebleken dat het openen van het bovencompartiment meetfouten introduceert. Dit betekent dat het effect van neerslag in combinatie met condensatie niet voldoende nauwkeurig gemeten kan worden met de gebruikte meetopstelling.

3.4 Opzet metingen

3.4.1 Procedure

Het doel van het meetprotocol is om een condens proces te creëren dat vergelijkbaar is met de situatie in een praktijkkas. Dit betekend o.a. dat de condenslaag waar de uiteindelijke ΔT_{hem} op gebaseerd is representatief moet zijn voor de situatie in een praktijkkas. Uitgangspunt is dat bij groenteteelten het kasdek 100% van de tijd nat is gedurende een groot deel van het jaar waarbij daglicht beperkend is voor de gewasgroei (Figuur 11).

Figuur 11 Door een simulatiemodel berekende condensatie aan het kasdek, vertaald naar het percentage van de dag (24 uur) dat het kasdek (gedeeltelijk) nat is. Volgens de berekeningen is het dek tussen november en april vrijwel de gehele dag nat.

Aangenomen mag worden dat er dan geen sprake is van aangroei van condens op een droog kasdek maar een condenslaag die bestaat uit een stabiel proces van aangroeien en afvloeien van condens.

Gedurende het afvloeien kan de transmissie relatief sterk veranderen omdat tijdens afvloeien druppels meegenomen worden waardoor een waterlaag kan ontstaan waar voorheen druppels zaten. Hoe kleiner het meetoppervlak hoe groter dit effect is.

De integrerende bol in de gebruikte meetopstelling heeft een poortdiameter van 10 cm en meet daarmee een oppervlak van 79 cm². Wanneer een condensdruppel een baan trekt van 1 cm breed waardoor de transmissie in die baan toeneemt van bijvoorbeeld -4% (druppels) naar +2% (waterlaag) heeft dat een effect van 0.8% op het totale poortoppervlak. Door het willekeurig afvloeien van condenswater ontstaat tijdens de meting op een gegeven moment een grillig patroon (Figuur 12).

Figuur 12 Tijdens het meetproces begint vanaf ca. 01:30 u condenswater af te vloeien waardoor de verandering in Them bij materiaal H1 grillig wordt door het ontstaan van vloeibanen. De effectieve verandering van Them zal dan bepaald moeten worden door de gemiddelde waarde over de periode na 01:30 u.

Voor de meetprocedure betekent dit dat gewacht moet worden totdat er condens gaat afvloeien en de ΔT_{hem} stabiliseert over een relatief lange periode. De resulterende ΔT_{hem} kan dan berekend worden als een gemiddelde waarde over deze periode. De keuze van deze periode hangt af het patroon van ΔT_{hem} en hiervoor is, mede door gebrek aan voldoende metingen, vooralsnog geen duidelijke procedure ontwikkeld. Belangrijk is dat de gemiddelde ΔT_{hem} geen drift meer vertoont en het proces van aangroeien en afvloeien van condens stabiel is.

Concreet bestaat de meting uit de volgende stappen:

1. Eenmalige kalibratie van de integrerende bol volgens 3.2.2. Hiervoor is een monster bestaande uit een aluminium plaat gecoat met BaSO_4 gebruikt met bekende reflectiewaarde.
2. Acclimatisatie van compartimenten op omgevingsklimaat.
3. Bepalen van de reflectie van de integrerende bol met open poort (referentiemeting). Dit gebeurt met gesloten compartimenten zodat de meting niet beïnvloedt wordt door strooilicht vanuit de omgeving.
4. Plaatsten van monster en de reflectiewaarde van het droge monster gemeten (nulmeting).
5. Inschakelen klimaatregeling t.b.v. condensatie.
6. Continue meting van de reflectiewaarde.
7. Einde meting bij stabiele T_{hem} .
8. Bepaling van de ΔT_{hem} .

3.4.2 Geselecteerde materialen

Condensatiegedrag en -hoeveelheid is sterk afhankelijk van het type materiaal. Uit eerder onderzoek is gebleken dat de transmissie van helder ongecoat glas afneemt terwijl die van veel typen diffuus glas juist toeneemt. In dit onderzoek zijn daarom naast helder glas de meest voorkomende typen diffuus glas, met of zonder coating, gemeten.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de gemeten monsters.

Tabel 2

Overzicht van de onderzochte materialen en transmissiewaarden gemeten op de Transvision meetbol van Wageningen UR. Van een aantal materialen is ook de 'natte transmissie' gemeten door het materiaal handmatig nat te maken.

Code	Omschrijving	Diffusiteit*	AR Coating	T_{hem} droog [%] (Transvision)	T_{hem} nat [%] (Transvision)	WUR Code
H1	Low iron glas	Helder	Nee	84.0	80.8	SNI5B2
H2	Standaard glas	Helder	Nee	82.8	81.7	DA15Z1
D1	1-zijdig geëtst	High-haze	Ja	81.1	84.8	DA13B
D2	1-zijdig geëtst	High-haze	Ja	83.6	87.8	DA14A
D3	2-zijdig geëtst	High-haze	Nee	75.9	76.0	DA15C
D5	2-zijdig geëtst	Low-haze	Nee	82.4	83.7	DA15Z3
D6	Matt/matt	Mid-haze	Nee	81.6	81.7	MV16R
D7	Prism/Matt	High-haze	Ja	81.0	84.3	GN10I

* Gerelateerd aan de haze-factor

4 Resultaten

4.1 Metingen

4.1.1 Algemeen

Omdat de meeste ervaring gebaseerd is op condensatie op helder glas, zowel visueel, gevoelsmatig als getalsmatig, zijn de tests om tot een protocol te komen in eerste instantie uitgevoerd met materiaal H1: helder ongecoate glas. Daarbij is steeds de procedure uit paragraaf 3.4 gevolgd.

Bij materiaal H1 ontstaat vrij snel (< 5 min.) na het plaatsten van het monster condensatie die eruit ziet als een diffuse waas. Als gevolg neemt de transmissie snel af tot ca. 40% lager dan de beginwaarde en vormen zich druppels die steeds groter worden. De grootste afname in transmissie is na ca. 45 minuten bereikt. Daarna loopt de transmissie iets op en na ca. 1.5 uur begint condenswater af te vloeien waardoor de ΔT_{hem} grilliger wordt (zie § 3.4.1). Vanaf dit punt wordt gewacht totdat de T_{hem} over een tijdsbestek van ca. 1 uur stabiel is. Deze beoordeling wordt 'op het oog' gedaan aan de hand van de grafiek gemaakt. De gemiddelde verandering in transmissie over het laatste uur kan dan gezien worden als het effect van condensatie op de hemisferische lichttransmissie voor dit materiaal.

Onderstaande foto's zijn opnamen vanuit het ondercompartiment gedurende verschillende stadia van het condensatieproces.

T=00:00

T=05:00

T=00:10

T=00:30

T=01:10

T=02:00

Figuur 13 Verschillende stadia van het condensatieproces van materiaal H1.

4.1.2 Resultaten per materiaal

In de onderstaande grafieken is voor alle gemeten materialen de ΔT_{hem} als functie van de doorlooptijd gegeven. Op de bijbehorende foto's is het materiaal te zien na het openen van het bovencompartiment, dus vanaf de droge zijde.

Gezien het experimentele karakter van de metingen zijn de doorlooptijden verschillend. Bij elke meting is gestreefd naar een doorlooptijd waarbij de ΔT_{hem} geen drift meer vertoont.

Figuur 14 ΔT_{hem} voor materiaal H1.

Figuur 15 Materiaal H1 vanaf de droge kant aan het einde van de meting.

Figuur 16 ΔT_{hem} voor materiaal D1.

Figuur 17 Materiaal D1 vanaf de droge kant aan het einde van de meting.

Figuur 18 ΔT_{hem} voor materiaal D2.

Figuur 19 ΔT_{hem} voor materiaal D3.

Figuur 20 Materiaal D3 vanaf de droge kant aan het einde van de meting.

Figuur 21 ΔT_{hem} voor materiaal D4.

Figuur 22 ΔT_{hem} voor materiaal D5.

Figuur 23 Materiaal D5 vanaf de droge kant aan het einde van de meting.

Figuur 24 ΔT_{hem} voor materiaal D6.

Figuur 25 Materiaal D6 vanaf de droge kant aan het einde van de meting.

Figuur 26 ΔT_{hem} voor materiaal D7.

Figuur 27 Materiaal D7 vanaf de droge kant aan het einde van de meting.

Met name bij materiaal D1 liggende de metingen relatief ver uit elkaar. Een verklaring hiervoor zou kunnen liggen in de begintoestand van het materiaal bij de start van een meting. Aangezien de relatieve luchtvochtigheid op het lab ten tijde van de metingen laag was is het redelijk om aan te nemen dat zich aan het oppervlak van de glas samples onvolledige monolagen van geadsorbeerd water bevonden in een ijs achtige structuur. Vanuit deze begin toestand zal waterdamp dan ook waarschijnlijk anders reageren dan vanuit een begin toestand met meer geadsorbeerd water. Gezien de tijdspanne waarover een dergelijk proces zich af speelt is het ook waarschijnlijk dat een monster bij een tweede meting op dezelfde dag nog niet terug naar zijn initiële begintoestand is gekomen vanuit waar de eerste meting was begonnen. Om precies te achterhalen hoe dit of andere materialen reageren zou gedetailleerd materiaalonderzoek nodig zijn.

In onderstaande tabel is de resulterende ΔT_{hem} als gevolg van condensatie (ΔT_{hem}) per materiaal weergegeven. De grootste afname treedt op bij materiaal H1. Van dit heldere ongecoate standaard tuinbouwglas neemt de T_{hem} ten gevolge van condensatie met gemiddeld 3.0% af. De afname van materialen D4 en D5 is licht negatief. Van materialen D2 en D5 is condens niet significant van invloed op T_{hem} . Materialen D1, D3 en D7 reageren licht positief op condensatie. Van de materialen waarvan de natte transmissie eerder op de Transvision apparatuur gemeten is komen de waarden van ΔT_{hem} veelal niet overeen, uitgezonderd materiaal H2. Dit betekent dat de meting op de Transvision meetopstelling (handmatig nat maken en tussen 0 en 90° hellend monster) een ander effect op de T_{hem} heeft dan natuurlijke condensatie onder een hellingshoek van 23°.

Tabel 3

Meetresultaten per materiaal.

Code	Diffusiteit*	T_{hem} droog (Transvision)	ΔT_{hem} nat [%] (Transvision)	ΔT_{hem} (%-punt) (condensmeter)	
H1	Helder	84.0		-3.0	SNI5B2
H2	Helder	82.8	-1.1	-1.1	DA15Z1
D1	High-haze	86.2		+0.8	DA13B
D2	High-haze	83.6	+4.2	+0.0	DA14A
D3	High-haze	75.9	+0.1	+1.3	DA15C
D5	Low-haze	82.4	+1.4	-0.2	DA15Z3
D6	Mid-haze	81.6		-0.9	MV16R
D7	High-haze	81.0	+3.3	+1.5	GN10I

4.2 Protocol

4.2.1 Meetapparatuur

De meetapparatuur moet bestaan uit de volgende componenten:

- Gesloten onder- en bovencompartimenten waartussen het te meten monster wordt aangebracht.
- Ondercompartiment waarin de luchtcondities nauwkeurig geregeld kunnen worden op gemiddeld 25°C en 90% RV met een maximale bandbreedte van 0.5°C resp. 2% RV.
- Bovencompartiment waarin temperatuur geregeld kan worden op 10°C met een maximale bandbreedte van 0.5°C en waarin de luchtvochtigheid zodanig is dat het dauwpunt altijd beneden de 10°C ligt.
- Een constructie om de hoek van het monster met horizontaal (waterpas) in te stellen op 23°.
- Integrerende bol, actief gekoeld met lucht uit het bovencompartiment, met een minimale diameter van de monsterpoot van 10 cm, via een optische fiber belicht met een stabiele lichtbron met licht minimaal in het PAR-spectrum. Bij een instabiele bron moet de lichtsterkte in de bol worden gecompenseerd voor de output van de lichtbron die met een aparte integrerende bol wordt gemeten. De glasvezel wordt in de bol afgeschermd met een baffle.
- Spectrometer(s) om de lichtintensiteit in de integrerende bol(len) spectraal te kunnen meten met een tijdsinterval van tenminste 10s en gedurende een looptijd van minimaal 3 uur. De bol moet voorzien zijn van een baffle om te voorkomen dat direct licht vanaf het monster of de lamp (via optische fiber) gemeten wordt.

Verder moet de meetapparatuur voor een materiaal met bekende T_{hem} gekalibreerd worden onder droge condities waarbij de gemeten T_{hem} binnen 2% van de bekende T_{hem} moet liggen.

4.2.2 Monstername

Tenzij door de opdrachtgever anders aangegeven wordt, moet het monster als volgt worden gereinigd:

1. Indien het monster zichtbaar is vervuild moet het monster met een neutrale zeepoplossing en zachte spons ontdaan worden van zichtbaar vuil.
2. Spoelen met kraanwater.
3. Dpoelen met gedestilleerd water.
4. Drogen aan de lucht of met een warme luchtstroom tot 35°C.

Na reiniging moet het monster minimaal 24 uur geconditioneerd worden in een ruimte met een temperatuur tussen 18°C en 23° en een relatieve luchtvochtigheid tussen 40% en 60%.

4.2.3 Meting

De integrerende bol moet vooraf eenmalig gekalibreerd worden volgens 3.2.2. Hiervoor is een monster bestaande uit een aluminium plaat gecoat met BaSO_4 gebruikt met bekende reflectiewaarde.

Bij de start van een meting moet eerst de reflectie van de integrerende bol met open poort R_{hem} bepaald worden (referentiemeting). Dit gebeurt door de lichtintensiteit in de bol te meten en daarna T_{hem} te berekenen volgens § 3.2.2. Hierbij zijn beide compartimenten gesloten zodat de meting niet wordt beïnvloedt door strooilight vanuit de omgeving.

Daarna moet het klimaat in beide compartimenten gelijk gemaakt worden aan het labklimaat en moet het monster op labtemperatuur zijn. Op deze manier wordt voorkomen dat zich niet meteen na het plaatsen van het monster condens vormt. Vervolgens wordt het monster geplaatst en de nogmaals de lichtintensiteit in de bol bepaald waarmee de reflectiewaarde R_{hem} van het droge monster berekend wordt volgens § 3.2.2 (nulmeting). Vervolgens wordt de klimaatregeling ingeschakeld en wordt de reflectie R_{hem} gedurende langere tijd continue gemeten en omgerekend naar T_{hem} volgens § 3.2.2. Door het ontstaan van condens zal T_{hem} (mogelijk) veranderen en naar verwachting na verloop van tijd stabiliseren. Bij een voldoende stabiele T_{hem} zal de eindwaarde worden bepaald als het gemiddelde vanaf de tijd dat er geen of nauwelijks drift meer optreedt. Een hard criterium hiervoor is vooralsnog niet beschikbaar.

De bovenbeschreven procedure wordt minimaal 2 keer herhaald en de resulterende verandering van hemisferische transmissie ΔT_{hem} wordt afgeleid uit de gemiddelde waarde van het aantal herhalingen van de reflectie volgens § 3.2.2 en samen met de T_{hem} van het droge materiaal gerapporteerd.

Samengevat:

1. Kalibratie met een monster met bekende hemisferische reflectie.
2. Meting R_{hem} van de open poort (referentiemeting).
3. Plaatsten monster.
4. Meting R_{hem} van droog monster (nulmeting).
5. Inschakelen klimaatregeling.
6. Continue meting en monitoring van R_{hem} en omrekening naar T_{hem} .
7. Einde meting bij voldoende stabiele T_{hem} .
8. Minimaal 2 keer uitvoeren van 1 t/m 7.
9. Bepaling eindwaarde T_{hem} en het condensverschil ΔT_{hem} .
10. Gerapporteerde ΔT_{hem} is de gemiddelde waarde van het aantal herhalingen.

4.2.4 Classificatie

Voorgesteld wordt om voor ΔT_{hem} een categorie-indeling te hanteren die op basis van de meetresultaten geassocieerd kan worden in de categorieën volgens onderstaande tabel.

Tabel 4

Classificatie van ΔT_{hem} in categorieën.

Klasse	Aanduiding	Bereik [%-punt]
Sterk negatief	--	< -2
Licht negatief	-	-0.5 t/m -2
Neutraal	-/+	-0.5 t/m +0.5
Licht positief	+	+0.5 t/m +2
Sterk positief	++	> +2

5 Conclusies

5.1 Materialen

Met de in dit project ontwikkelde meetopstelling zijn met een 8-tal materialen herhalende metingen uitgevoerd. Het betreft twee heldere glasmonsters en 6 typen diffuus glas.

In onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven op basis van de eindwaardebepaling en classificatie in § 4.2

Tabel 5

Resultaten per materiaal.

Code	T_{hem} [%]	ΔT_{hem} [%-punt] en classificatie				
		--	-	-/+	+	++
H1	84.0	-3.0				SNI5B2
H2	82.8		-1.1			DA15C
D1	86.2				+0.8	DA15Z1
D2	83.6			+0.0		DA13B
D3	75.9				+1.3	DA14A
D5	82.4			-0.2		DA15Z3
D6	81.6		-0.9			MV16R
D7	81.0				+1.5	GN10I

Op basis van de resultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Het effect van condensatie op de lichttransmissie is sterk afhankelijk van het materiaal. Hierbij spelen de oppervlaktebehandeling en –structuur, (AR) coatings en enkel/dubbelszijdige behandeling een cruciale rol omdat deze het hydrofiele/hydrofobe karakter van het materiaal beïnvloeden.
- Bij de gemeten monsters van helder ongecoat glas heeft condensatie een negatief effect op de T_{hem} . Het gemeten effect is kleiner dan in eerder onderzoek is gevonden. Een mogelijke verklaring is dat voor deze onderzoeken nieuwer en daarmee hydrofober glas is gebruikt en dat in de meeste onderzoeken de effecten van afvloeien van condens niet meegenomen zijn.
- De verschillende onderzochte typen diffuus glas presteren wisselend, van licht positief tot licht negatief. De invloed van condensatie is gemiddeld minder groot dan in eerdere onderzoeken en labmetingen zijn gevonden. Een mogelijke verklaring is o.a. dat bij het handmatig natsproeien van glas een vlakkere waterlaag met minder druppelvorming ontstaat wat positief is voor de lichttransmissie.
- Op basis van de onderzochte materialen kan geen eenduidig verband tussen effect van condens op de transmissie en type structuur of coating gelegd worden. Dit komt met name omdat geen structureel materiaalonderzoek is gedaan naar de onderzochte materialen. Op basis van literatuur kan gesteld worden dat bij een hydrofiele coating over het algemeen een positief effect heeft op de transmissie terwijl een hydrofobe coating de transmissie juist verlaagt. Het effect van de interactie tussen een coating en een oppervlaktestructuur kan echter anders uitpakken.
- De conclusie dat helder ongecoat glas slechter presteert bij condensatie en diffuus glas beter kan presteren komt overeen met de resultaten uit eerder onderzoek.
- Bij sommige materialen is de spreiding tussen herhaalde metingen veel groter dan bij andere. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door (opslag)condities en preparatie van het materiaal voorafgaande aan de meting.

Met betrekking tot de glastuinbouwsector kan het volgende gesteld worden:

- Bij de keuze voor high-end diffuus glas met hoge lichttransmissie is condensgedrag een belangrijke parameter.
- Bij materialen met verschillende eigenschappen voor onder- en bovenzijde moet rekening gehouden worden met het condensgedrag bij het bepalen van welke zijde naar binnen gelegd wordt.
- Het positieve effect van diffuus glas op de gewasproductie dat in (praktijk)proeven is gevonden kan deels verklaard worden door een hogere transmissie van het diffuse glas bij condensatie ten opzichte van de referentie.

5.2 Meetprotocol

In dit project is de basis gelegd voor een meetprotocol in combinatie met meetapparatuur om het effect (ΔT_{hem}) van condensatie op T_{hem} bepalen en daarmee een materiaal te classificeren naar de bruikbaarheid als kasdek materiaal.

Verder zijn de volgende conclusies te trekken:

- Met de meetopstelling is het condensatieproces op glas zoals dat in een paktijkkas gebeurt goed na te bootsen.
- Het meten onder een hellingshoek is belangrijk omdat het afdruipe van condenswater een significant effect heeft op de lichttransmissie.
- De looptijd van een meting is lang, afhankelijk van het materiaal tot aan meerdere uren.
- De reproduceerbaarheid van een meting aan hetzelfde monster wisselt per monster. Voor de gemeten materialen zijn de meetresultaten reproduceerbaar binnen maximaal 0.5%.
- Het theoretische effect van condensatie op de lichttransmissie van een materiaal is sterk afhankelijk van de hydrofobiciteit van het materiaal dat o.a. bepaald wordt door:
 - Temperatuur en (lucht)vochtigheid tijdens opslag.
 - Leeftijd van het materiaal.
 - Vervuiling.
 - (AR)coatings.
 - Reinigingshistorie en -middelen.

Hierdoor kan de hydrofobiciteit van een materiaal (sterk) veranderen in de tijd waardoor herhaalde metingen aan hetzelfde monster verschillende resultaten kunnen opleveren. Verder onderbouwing hiervan viel buiten de scope van dit onderzoek maar het verdient aanbeveling om hier rekening mee te houden bij het definiëren van de opslagcondities en preparatie van materialen.

- Waardering van een materiaal volgens een classificatiesysteem (zoals voorgesteld in Tabel 4) lijkt zinvol.

6 Aanbevelingen

In dit onderzoek is aangetoond dat de effecten van condensatie op T_{hem} via een standaardmeting bepaald kunnen worden. Om de meting verder te verbeteren verdienen in eventueel vervolgonderzoek de volgende stappen aanbeveling:

- Gedetailleerder materiaalonderzoek door producenten naar het gedrag van diverse structuren of oppervlaktebehandelingen op condensgedrag door te voeren, o.a.
- Verder (theoretisch) onderzoek naar ΔT_{hem} droog-nat van diverse glastypes in relatie tot de condities tijdens opslag van glas met diverse oppervlaktebehandelingen.
- Verder (theoretisch) onderzoek naar ΔT_{hem} droog-nat van diverse glastypes in relatie tot het prepareren van samples (schoonmaken, drogen).
- Ontwikkelen van een robuust (statistisch) criterium voor een eenduidige bepaling van een de eindwaarde van ΔT_{hem} .
- Door materialen te ontwikkelen op basis van condensatiegedrag kan tot 5% meer zonlicht gebruikt worden en daarmee de energie-efficiëntie in dezelfde mate worden verhoogd.

Literatuur

NEN, 1990.

NEN 2675: Vlakglas - Tuinbouwglas - Bepaling van de lichtdoorlatendheid, www.nen.nl.

Ruigrok, J., Swinkels, G.L.A.M, 2008.

Lichtmeetprotocol kasdekmaterialen. TNO-rapport 034-DTM-2010-03385.

Swinkels, G.-J.; Hemming, S.; Mohammadkhani, V.; Ruijven, J. van 2013.

Protocol for measuring light transmission of horticultural screens. WUR rapport GTB-1252

D. B. Asay and S. H. Kim. 2005.

Evolution of the Adsorbed Water Layer Structure on Silicon Oxide at Room Temperature. J. Phys. Chem. B 2005, 109, 16760-16763

B. Jańczuk, e. Chibowski, and t. Bialopiotrowicz. 1984.

Time dependence wettability of quartz with water. Chem. Papers 40 (3) 349-356 (1986)

R.I. Razouk, A.S. Salam. 1947.

The adsorption of water vapor on glass surfaces. The Journal of Physical Chemistry, 1208-1226 (1948)

C. K. Hsieh And Anil K. Rajvanshi.

The Effect Of Dropwise Condensation On Glass Solar Properties Dept. of Mechanical Engineering, University of Florida, Gainesville, FA 32611, U.S.A. (Received 11 December 1975)

B. J. Briscoe and k. P. Galvin.

The effect of surface fog on the transmittance of light. Department of chemical engineering and chemical technology, imperial college london, sw7 2by, u.k. solar energy vol. 46, no. 4, pp. 191-197, 1991

Pieters, J.G. ; Deltour, J.M. ; Debruyckere, M.J.

Light transmission through condensation on glass and polyethylene. Agricultural and Forest Meteorology, 1997, Vol.85(1), pp.51-62

Pollet, IV ; Pieters, Jg.

Condensation and radiation transmittance of greenhouse cladding materials, part 3: Results for glass plates and plastic films. Journal Of Agricultural Engineering Research, 2000 Dec, Vol.77(4), pp.419-428

I. V. Pollet, j. G. Pieters and r. Verschoore. 2002.

Impact of water drops on the visible radiation transmittance of glazings under outside radiant conditions. Biosystems engineering, ghent university, coupure links 653, 9000 ghent, belgium. Accepted 21 october 2002

Pollet, Ivan V. ; Pieters, Jan G. ; Deltour, Jules ; Verschoore, Reinhart.

Diffusion of radiation transmitted through dry and condensate covered transmitting materials. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1 March 2005, Vol.86(2), pp.177-196

Stanghellini, C.; Mohammadkhani, V.; Bruins, M.A.; Hemming, S.; Sonneveld, P.; Swinkels, G.J. 2010.

Condensatie tegen het kasdek : licht- en energie-effecten van condensatie op acht kasdekmaterialen. WUR rapport GTB-1025

Kempkes, Frank; Swinkels, Gert-Jan; Hemming, Silke, 2015.

Verbetering lichtinval winterlicht. WUR rapport GTB880367822 Nr. 1375

Pope, Robin M; Fry, Edward S. 1997.

Absorption spectrum (380–700 nm) of pure water. II. Integrating cavity measurements. Applied Optics Vol. 36, Issue 33, pp. 8710-8723 (1997).

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
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wageningenur.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport GTB-1438

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

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen WUR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en WUR hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort WUR 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.