



Condens op Diffuus Glas: Invloed op lichttransmissie?

Tom Dueck, Jan Janse & Sonny Moerenhout

Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen/Bleiswijk
augustus 2012



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie



Productschap  **Tuinbouw**

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 644, 6700 AP Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

Contents

1	Introductie	1
2	Verkennde metingen in de kas	2
3	Transmissiemetingen in het lab	3
3.1	Glasmonsters	3
3.2	Invloed van de structuurzijde op de lichttransmissie	3
3.3	Invloed van condens op de licht transmissie	4
3.3.1	Condens op de binnen- of buitenzijde van het glas	4
3.3.2	Invloed van de hoeveelheid condens op de lichttransmissie	5
3.4	Invloed van het type diffuus glas met condens op lichttransmissie	6
3.5	Invloed van AR-coating op transmissie zonder en met condens	7
4	Conclusies en aanbevelingen	10
5	Referenties	11
	Bijlage I. Eigenschappen van de gebruikte glasmonsters	12
	Bijlage II. Hemisferische transmissie van glas, met en zonder condens	1
	Bijlage III. Invloed van AR-coating op lichttransmissie	3

1 **Introductie**

Uit waarnemingen in de praktijk lijkt naar voren te komen dat op verschillende typen kasdekmaterialen verschillende hoeveelheden water condenseren en dat condens niet altijd op het hele glasoppervlak optreedt. De mate waarin dit voorkomt hangt af van het materiaal zelf en van het verschil in temperatuur tussen het binnenklimaat en het glas (hoe groter het verschil, hoe eerder condens wordt gevormd). Het rapport van Stanghellini et al. (2011) heeft veel vragen opgeroepen over de invloed van condens op een kasdek. Hoe groot is de invloed van condens tegen het kasdek als het om lichttransmissie en energiebalans gaat? Volgens Stanghellini et al. zou een kasdek dat volledig 'gecondenseerd' is, tot 9% lichtverlies kunnen leiden t.o.v. een droog kasdek. De geteste diffuse glasplaat (Vetrasol 503) in het onderzoek van Stanghellini et al. gaf echter geen reductie van de transmissie onder invloed van condensatie. Dit zou kunnen betekenen dat de transmissie in een kas met een bepaald type diffuus glas bij condensatie hoger is dan in een kas met helder glas.

Nu wordt er steeds meer onderzoek met diffuus glas uitgevoerd en de resultaten zijn veelbelovend. In onderzoek bij Wageningen UR is ongeveer 10% meerproductie bij ondermeer komkommer en tomaat en een verbetering van de kwaliteit van roos gerealiseerd. Hoewel simulatiemodellen een meerproductie onder diffuus glas voorspellen, kunnen de modellen de gemeten meerproductie niet volledig verklaren. Mogelijk zou condensvorming op het glas en de effecten hiervan op de lichttransmissie, ook een deel van de meerproductie van diffuus glas kunnen verklaren.

In het onderzoek aan komkommer onder diffuus glas in Bleiswijk (Janse et al. 2012) zijn verkennende metingen uitgevoerd om de hoeveelheid condens op het kasdek in te kunnen schatten. Deze metingen zijn in dit rapport aangevuld met gerichte metingen in het lab om het effect van condens op de lichttransmissie van verschillende typen diffuus glas vast te stellen. Doelstelling van dit onderzoek is het vaststellen van het effect van condens op verschillende typen diffuus glas op de hemisferische lichttransmissie in vergelijking met dat op standaard tuinbouwglas. Daarnaast is de invloed van anti-reflectie coatings op de lichttransmissie nagegaan.

2 Verkennende metingen in de kas

In twee kascompartimenten bij WUR Glastuinbouw in Bleiswijk werden metingen uitgevoerd op de hoeveelheid condens op een helder en een diffuus kasdek bij verschillende buitenklimaten. Met deze metingen werd getracht een indicatie te krijgen van de invloed van condens op de lichttransmissie en vervolgens voor de in het onderzoek gevonden productieverhoging (Janse et al. 2012).

De metingen werden uitgevoerd in de kas met een volgroeid komkommer gewas. Daarin werd de hoeveelheid condens op het glas (g m^{-2}) gemeten en geanalyseerd in relatie tot het kasklimaat, de buitentemperatuur en de globale straling. De condensmetingen zijn verricht bij helder en diffuus glas aan zowel de noord- als zuidkant van het dek.

Een oppervlak van 50x50 cm werd gemarkeerd aan de binnenzijde van het glasdek met behulp van een sjabloon. Op verschillende dagen in maart en april 2012 werd het condensvocht verzameld en gemeten. De resultaten hiervan (Tabel 1) laten zien dat er aanzienlijke verschillen in hoeveelheden condensvocht waren op de verschillende dagen, variërend van ca. 0.5 tot 2.5 g m^{-2} , en dat er op diffuus glas telkens meer condensvocht werd verzameld. De verschillen tussen de glastypen waren waarschijnlijk veroorzaakt door het verschil in glasstructuur (een structuur op diffuus glas houdt het vocht langer vast).

De verschillen in de hoeveelheden condensvocht tussen de diffuus glasdek en de referentie op de verschillende dagen waren groot, en varieerde van 30-350%. Het verschil tussen de dagen heeft waarschijnlijk te maken met de condities binnen en buiten de kassen. Grote verschillen tussen diffuus en de referentie komen vooral voor op zonnige dagen waarop de raamstand relatief groot was. Vermoedelijk verdampte het condensvocht op (glad) referentieglass sneller dan op diffuusglas, vanwege de verschillende structuren, waardoor vocht langer vastgehouden op diffuus glas werd.

Table 1. Metingen van de hoeveelheid condensvocht (g m^{-2}) aan de binnenkant van het kasdek, bij de referentie van helder glas (0% haze) en diffuus glas (71% haze). De weersgesteldheid, temperatuur en raamstand betreffen een periode van een half uur vóór tot één uur na de meting.

Datum	Condensvocht (g m^{-2})		Verschil t.o.v. Ref	Weer	Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) (binnen-buiten)		Raamstand (%)	
	Ref	Diffuus			Ref	Diffuus	Ref	Diffuus
5 mrt	1.97	2.55	30%	bewolkt	15.3	15.2	0	0
13 mrt	1.38	2.01	46%	bewolkt	12.0	12.1	0.8	0.5
16 mrt	1.20	2.28	90%	bewolkt	13.1	12.9	0.4	0.4
19 mrt	0.56	1.63	191%	zonnig	15.8	15.3	14.3	17.6
30 mrt	1.08	2.12	96%	bewolkt	12.1	12.2	0	0
13 april	0.33	1.50	354%	zonnig	13.4	12.9	1.5	1.6
25 april	0.62	1.69	174%	zonnig	13.5	13.6	4.4	4.6

Vervolgens is op 2 data de transmissie net boven het gewas gemeten, op ca. 200 punten in elk pad, waardoor een gemiddelde transmissie van de hele kas werd verkregen. De gemiddelde transmissie per kas is weergegeven in Tabel 2. Daar is te zien dat op 30 maart het verschil in lichttransmissie tussen diffuus en helder glas 3.1% en op 17 april 3.2% was.

De hemisferische transmissie van beide glastypen gemeten op de lichtbol (lab) verschilt echter maar 0.1%. Het meest voor de hand liggende verschil is dat de transmissie in het lab werd gemeten op droog glas en in de kas met een zekere mate van condens op het kasdek. Hieruit kan geconcludeerd worden dat hoogstwaarschijnlijk (een zeker mate van) condens de lichttransmissie van diffuus glas verhoogt.

Table 2. Gemeten transmissie (%) op 2 dagen in de referentie en diffuusglas kas op een bewolkte dag boven het gewas en de hemisferische transmissie (%) van droog glasmonsters in het lab.

Datum	Glastype	Kas		Lab	
		Transmissie (%)	Verschil (Diff - Ref)	Transmissie (%)	Verschil (Diff - Ref)
Maart 30	Referentie	63.8 ± 1.5	3.1%	82.1	0.1%
	Diffuus	66.9 ± 0.3		82.3	
April 17	Referentie	64.5 ± 0.6	3.2%		
	Diffuus	67.7 ± 0.7			

3 Transmissiemetingen in het lab

3.1 Glasmonsters

Voor het onderzoek werden glasmonsters gebruikt die in het lab in Wageningen en op de kassen in Bleiswijk beschikbaar waren. De metingen zijn uitgevoerd op 19 verschillende glasmonsters, op floatglas (standaard tuinbouwglas), glas met een prismastructuur (prismatic), gewalst glas, glas met V-groeven en geëetst glas. Bij het floatglas, het prismatic en gewalste glas waren er monsters met en zonder AR-coating, terwijl het glas met V-groeven zonder AR-coating was. Er waren 8 monsters bij met een één-zijdig AR coating en 3 monsters met twee-zijdig coating. Het geëetste glas was uitsluitend met AR-coating. Een overzicht van de glastypen met eigenschappen is gegeven in Bijlage I.

3.2 Invloed van de structuurzijde op de lichttransmissie

Eerst moet het verschil in lichttransmissie tussen helder glas en de verschillende typen diffuus glas in droge toestand worden vastgesteld. Het ging om in totaal 19 glasmonsters en deze meting in droge toestand bepaalt de uitgangspositie voor de verdere metingen.

Voor het meten van glas wordt eerst de te gebruiken terminologie aangegeven. In Figuur 1 zijn 2 kasdekken schematisch weergegeven. In A wordt over glas gesproken met de structuurzijde (van diffuus glas) aan de buitenkant, d.w.z. aan de kant van de lichtbron (zon op het kasdek of kunstlicht op een glasmonster in het lab). In B wordt gesproken over de structuurzijde aan de binnenzijde ofwel aan de zijde tegenover de lichtbron.

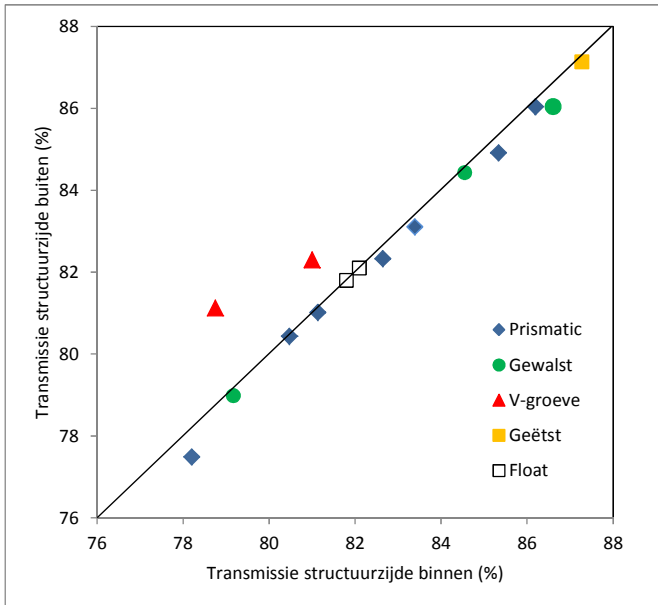


Figuur 1. Schematische weergave van een diffuus kasdek met de structuurzijde aan de buitenzijde (A) en de binnenzijde (B).

Over het algemeen wordt de hemisferische transmissie in het licht-lab in Wageningen gemeten met de structuurzijde aan de buitenzijde van het glas, d.w.z. de structuurzijde aan de zijde van de lichtbron. Om een mogelijk onderscheid in resultaten met de structuurzijde aan de binnenzijde uit te sluiten, zijn de glasmonsters eerst met de ene zijde en daarna met de andere zijde naar het lichtbron toe gemeten.

In Figuur 2 wordt de hemisferische transmissie van glasmonsters weergegeven, gemeten met de structuur zowel aan de buiten- en binnenzijde van het glas. Ook is de transmissie van floatglas weergegeven als referentie. Over het algemeen lijkt de hemisferische transmissie voor nagenoeg alle glastypen net iets hoger te zijn wanneer de structuurzijde naar binnen toe is gericht. Het verschil is echter klein, gemiddeld 0.3% hoger.

In de figuur vormt het glas met een V-groef een uitzondering. Dit glastype is anders gemaakt dan de overige diffuus glastypen en heeft een V-groefstructuur aan beide zijden van het glas. Voor deze meting is de V-groef verticaal gepositioneerd t.o.v. de horizon (gebruikelijk in de praktijk) uitgezet tegen de V-groef horizontaal gepositioneerd. Beide floatglas monsters waren zonder AR coating. In Figuur 2 is te zien dat de transmissie hoger is wanneer de V-groef verticaal gepositioneerd wordt dan wanneer deze horizontaal wordt gepositioneerd.



Figuur 2. Hemisferische transmissie gemeten met structuurzijde aan de buitenkant vs de binnenkant.

3.3 Invloed van condens op de licht transmissie

3.3.1 Condens op de binnen- of buitenzijde van het glas

Condens wordt gevormd als vocht in de lucht in contact komt met een oppervlak zoals een kasdek. Hoe kouder het oppervlak t.o.v. de dauwpunt van de lucht, hoe sneller de condensvorming plaatsvindt. Het vocht condenseert uit de lucht op het kasdek in de vorm van fijne druppels tot een waterfilm op het glas.

In dit onderzoek is condens nagebootst door demi-water uit een plantenspuit te spuiten op een horizontaal gehouden glasmonster. Hierbij blijft er meer vocht op het glas dan wanneer condens wordt gevormd op het kasdek. Op een glasoppervlak van 2500 cm² werd met een plantenspuit 9 keer gepompt. Dit is enige keren herhaald en bleek goed reproduceerbaar te zijn. Het resulteerde in gemiddeld 4.99 ± 0.1 g water op het glas, ongeveer 10x zoveel als wordt gemeten op het kasdek (zie Tabel 1). Het resultaat is niet gelijk aan fijndruppelig condens maar benadert het wel en geeft een indruk van de invloed van condens op het kasdek.

Wanneer de hemisferische transmissie van glas met condens erop moet worden gemeten met de Transvison lichtbol in het lab in Wageningen moet voorkomen worden dat er vocht in de lichtbol kan komen. Vocht in de lichtbol kan deze beschadigen. Daarom zijn er metingen in een klimaatkamer uitgevoerd om vast te stellen of er een groot verschil is in de gemeten transmissie wanneer condens is gevormd aan de binnenzijde of buitenzijde t.o.v. de lichtbron.

De metingen zijn uitgevoerd in een klimaatkamer met condens in de vorm van kleine druppels en een dunne waterfilm op het glas. Het licht (intensiteit, ca. $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), en richting (van boven) in de klimaatkamer was constant. De lichttransmissie werd gemeten door een grid met 9 punten te markeren. De lichtintensiteit werd gemeten met een LI-COR quantum sensor (LI-COR Inc., Nebraska), die het lightspectrum tussen 400-700 nm meet.

De lichtintensiteit gemiddeld over de 9 punten in de grid, gemeten zonder glas, werd vergeleken met metingen met glas in achtereenvolgens droge toestand, met een fijne spray en met een waterfilm. De metingen per glasmonster zijn uitgevoerd met de structuurzijde gericht zowel naar de lichtbron (1x) als van de lichtbron af (1x).

In Tabel 3 zijn de resultaten van de metingen weergegeven.

Tabel 3. Metingen van de lichttransmissie door het glas met en zonder condens (%).

Structuur buiten					
Type glas	Droog	Condens buiten	Condens binnen	Condensfilm buiten	Vershil condens buiten-binnen
Prismatic1	98.6	97.2	98.2	98.1	-1.0
Prismatic3 1AR*	98.3	98.5	99.3	98.7	-0.8
Prismatic7 1AR	95.4	98.4	95.2	95.8	3.2
Gewalst1	98.4	99.1	99.5	99.4	-0.4
Gewalst2 2AR	100.6	100.0	99.3	99.7	0.7
Geëst2 1AR	96.4	97.5	96.2	97.5	1.2
V-groeven**	97.8	95.8	98.1	97.9	-2.3
Structuur binnen					
	Droog	Condens buiten	Condens binnen	Condensfilm buiten	Vershil condens buiten-binnen
Prismatic1	95.7	96.3	96.9	96.7	-0.6
Prismatic3 1AR*	97.7	98.2	98.7	99.1	-0.5
Prismatic7 1AR	97.0	97.9	97.7	97.5	0.2
Gewalst1	97.4	98.1	98.7	98.4	-0.6
Gewalst2 2AR	99.9	98.8	98.6	99.3	0.2
Geëst2 1AR	97.1	97.3	96.9	97.0	0.4
V-groeven**	-	-	-	-	-

* 1-zijdig gecoat (1AR), of 2-zijdig gecoat (2AR)

**De structuur van V-groeven zat aan beide zijden van het glas

Per behandeling vertoonden de meetcijfers van de herhalingen van de relatieve lichttransmissie in Tabel 3 weinig variatie, telkens minder dan 0.05% t.o.v. elkaar en is niet verder vermeld in de tabel. De 'Prismatic1' en 'Gewalst1' glasmonsters hadden geen AR coating, de overige 2 Prismatic glasmonsters wel. De 'Gewalst2' glasmonster was 2-zijdig, en 'Geëst2' 1-zijdig gecoat.

De verschillen in lichttransmissie tussen de glastypen met structuurzijde buiten en condens aan de binnen- of buitenzijde (verschil condens buiten-binnen) waren wisselend, variërend van -2.3% tot +3.2%. De verschillen bij de monsters met condensfilm in vergelijking met meting in droge toestand waren kleiner, variërend van ca. -1.3 – +1%.

Wanneer de structuurzijde aan de binnenkant zat tegenover de lichtbron, waren de verschillen veel kleiner en varieerden van -0.6% tot +0.4%. Tussen droog en condensfilm varieerden de verschillen van -0.6 tot +1.4%. Een mogelijke verklaring hiervoor kan de diffuse lichtbron in de klimaatkamer zijn, en ondanks het afschermen van licht van de zijkanten van het glas, heeft dat de transmissie metingen verstoord.

3.3.2 Invloed van de hoeveelheid condens op de lichttransmissie

De metingen met verschillende hoeveelheden condens, d.w.z. weinig condens in druppelvorm op het glas en veel condens in de vorm van een waterfilm op het glas zijn vervolgens vergeleken. Uit Tabel 3 is het verschil in gemeten lichttransmissie genomen tussen 'condens binnen' en 'droog' wanneer de structuur van het diffuus glas aan de buitenzijde en binnenzijde (van de kas) en als condens in de vorm van druppels/spray of een film condensvocht aanwezig was (Tabel 4). Dit is dan het effect van condens op de lichttransmissie met weinig (druppels) of veel (film) condens op het glas.

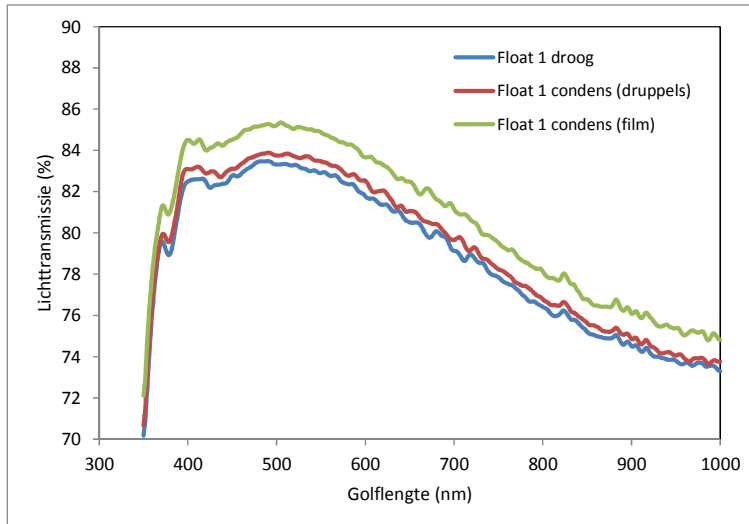
Bij de gemeten glasmonsters varieerde het effect van condens op de lichttransmissie in druppelvorm tussen -1.3% en +1.3%. Vooral bij de 'Prismatic1' en 'Prismatic7' monsters maakte het nogal uit of de structuurzijde aan de buiten- of de binnenkant zat. Bij deze glassoorten was de lichttransmissie duidelijk hoger als de druppelvormige condens op de structuurzijde aan de binnenkant zat. In de kassituatie zou het bij dit glas dus voordelen bieden om het glas met de structuurzijde aan de binnenkant te plaatsen.

Tabel 4. Het effect van condens in druppel-vorm en als film op de lichttransmissie t.o.v. droog glas (%) wanneer het glasstructuur aan de buiten en binnenkant was, en het verschil tussen beide.

	Condens in druppelvorm			Condens als waterfilm		
	Structuur buiten	Structuur binnen	Structuur verschil buiten-binnen	Structuur buiten	Structuur binnen	Structuur verschil buiten-binnen
Prismatic1	-0.4	1.2	1.6	-0.5	1.0	1.5
Prismatic3	1.0	1.0	0	0.4	1.4	1.0
Prismatic7	-0.2	0.7	0.9	0.4	0.5	0.1
Gewalst1	1.1	1.3	0.2	1.0	1.0	0
Gewalst2	-1.3	-1.3	0	-0.9	-0.6	0.3
Geëtst2	-0.2	-0.2	0	1.1	-0.1	-1.2
V-groeven	0.3	0.3	0	0.1	0.1	0

Wanneer condens als een waterfilm op het glas lag, leek er gemiddeld ook een hogere lichttransmissie te zijn dan wanneer de structuurzijde aan de binnenkant zat. Alleen bij het geëtste glas was de transmissie in deze situatie juist lager. Het is theoretisch bekend dat een waterfilm de transmissie verhoogt (Pieters et al., 1998). Het lijkt dus op dat de structuur bevoordert filmvorming, waarschijnlijk door middelen van verkleinen van de oppervlakte spanning.

Vervolgens is ervoor gekozen om de metingen met de lichtbol uit te voeren met condens in druppelvorm en als waterfilm aan de buitenkant vooral omdat (a) er geen risico genomen mag worden dat de lichtbol vanbinnen nat wordt, maar ook (b) omdat de verschillen niet groot en dus acceptabel zijn.



Figuur 3. Spectrale transmissie (%) voor float glas, droog en met condens in druppel- en filmvorm. De structuurzijde was naar buiten gericht (naar het lichtbron toe).

In Figuur 3 is de spectrale transmissie van floatglas gemeten, van droog glas en van glas met condens in de vorm van druppels en waterfilm. De transmissieverhoging is enkele tienden procent met druppelvormig condens en met een waterfilm nog hoger (ca. 1-1.5%), en bevestigt eerder simulaties van Pieters et al., (1998) metingen van Heinemann & Walker (1997).

3.4 Invloed van het type diffuus glas met condens op lichttransmissie

In hoeverre is het type glas, dus de wijze waarop het gemaakt wordt van invloed op de lichttransmissie? Om een indruk hiervan te verkrijgen zijn de relatieve verschillen van ieder glastype met condens t.o.v. droog glas gemiddeld. Daarvoor zijn de metingen van glas met zowel de structuurzijde naar buiten als naar binnen gericht en met en zonder AR coating (Tabel 5). Het relatieve verschil van condens op het glas t.o.v. droog glas werd als volgt berekend: Relatief verschil is $((\text{transmissie}_{\text{condens}} - \text{transmissie}_{\text{droog}}) / \text{transmissie}_{\text{droog}}) * 100$.

Tabel 5. De invloed van condens op de hemisferische transmissie (%) bij de 5 typen glas.

Glastype	Invloed van condens (%)	Aantal glasmonsters
Float	-1.8	4
Prismatic	0.9	7
Gewalst	0.5	4
V-groeven	-0.2	2
Geëetst	-0.9	2

Uit de ruwe gemiddelde transmissiewaarden blijkt dat bij Prismatic en gewalst glas een hogere hemisferische transmissie wordt gerealiseerd dan in droge toestand. Het voordeel ligt gemiddeld voor glas met en zonder AR coating en met de structuurzijde zowel naar buiten als naar binnen gericht, tussen de 0.5 - 1% hoger. Om de effecten van deze factoren afzonderlijk te bekijken wordt verwezen naar Bijlage II, waar de waardes per behandeling zijn gegeven. Generieke uitspraken hierover zijn niet mogelijk vanwege het geringe aantal glasmonsters.

3.5 Invloed van AR-coating op transmissie zonder en met condens

Vaak wordt diffuus glas ook gecoat met een AR-coating om de hemisferische transmissie te verhogen. Het effect ervan is te zien in Tabel 6.

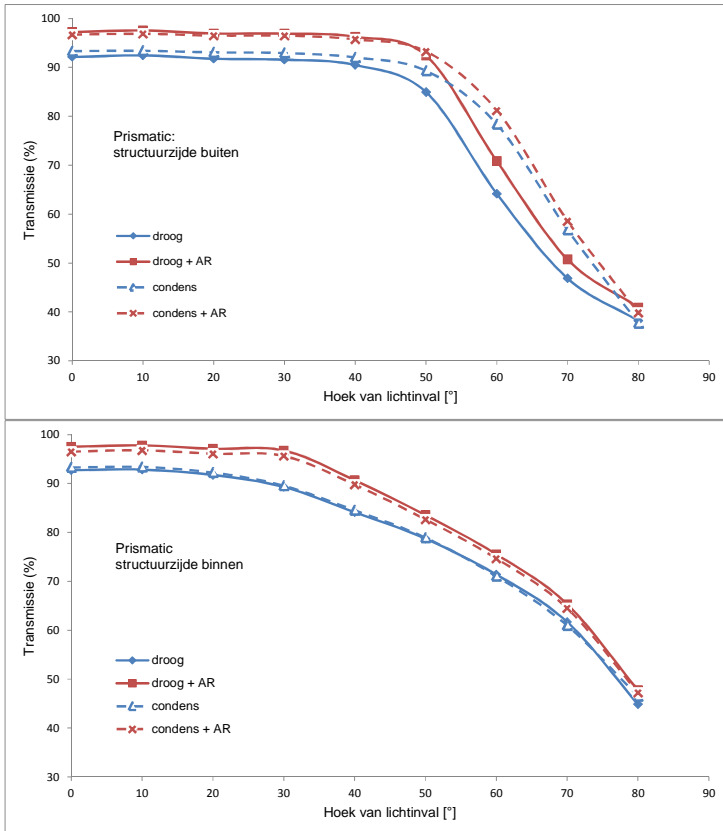
Tabel 6. Het effect van AR-coating op de hemisferische transmissie gemiddeld per glastype zonder condens.

Type glas	AR coating	Aantal monsters	Hemisferische transmissie (%)	Loodrechte transmissie (%)
Float	-	2	82.0	89.5
	+	2	89.1	95.8
Prismatic	-	2	79.0	91.9
	+	5	83.5	94.8
Gewalst	-	2	81.2	92.0
	+	2	85.2	95.6
V-groeven	-	2	79.9	91.2
Geëetst	+	2	86.6	96.3

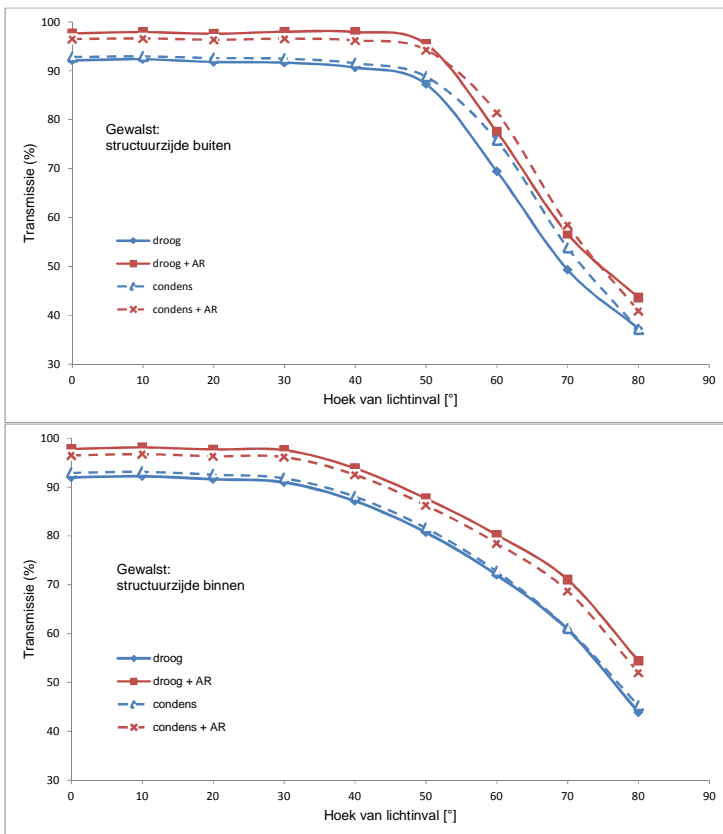
Voor de verschillende typen glas zijn de gemiddelde hemisferische transmissie waarden gegeven met en zonder AR-coating. Tabel 6 laat zien dat een AR-coating de transmissie verhoogd met 7.1% (Float), 4.5% (Prismatic) en 4% (Gewalst). Voor glas met een V-groeven en geëetst glas waren er alleen monsters respectievelijk zonder en met AR-coating. Een vergelijking van het invloed van hydrofobe en hydrofiele AR-coatings op de lichttransmissie is niet mogelijk vanwege te weinig glasmonsters.

Voor het beste beeld van het effect van AR-coating, moet precies hetzelfde glastype met en zonder AR vergeleken worden. Er kan namelijk ook verschil zitten in grondstoffen waarvan het glas is gemaakt. In Figuren 4 en 5 is de lichttransmissie van respectievelijk hetzelfde prismatic en gewalste glas zonder en met AR-coating in droge en natte toestand bij de verschillende invalshoeken **ten opzichte van loodrecht** gegeven. De structuurzijde was naar buiten (de lichtbron) en naar binnen toegekeerd. De hoek van lichtinval ten opzichte van loodrecht betekent dat bij 0° het licht loodrecht op het glas schijnt, en bij 90° parallel aan het glas. Gemiddeld op de dag en gedurende het jaar is de hoek van inval 45-60° t.o.v. het het glas, in de ochtend en late middag is dat hoger en midden op de dag is dat lager.

In beide figuren is het beeld helder: een AR-coating verhoogt de hemisferische transmissie bij alle hoeken van lichtinval. Ook bij een lage zonnestand (invalhoek b.v. 70-80°) heeft AR-coating een positief effect die vaak net zo hoog is als bij hogere lichtinvalshoeken. Bij lichtinval midden op de dag (invalshoeken tot ca. 30°) lijkt het weinig uit te maken of het glas droog is of dat er een zekere mate van condens op het glas aanwezig is. Bij zowel de Prismatic als het gewalste glas treden er echter verschillen op bij een lage zonnestand. Vooral vanaf een hoek van 40 tot 50 ° ten opzichte van loodrecht is de transmissie bij nat glas hoger dan bij droog glas.



Figuur 4. Hemisferische lichttransmissie (%) bij Prismatic glas, met de structuurzijde buiten of binnen, met en zonder condens en met/zonder AR-coating.



Figuur 5. Hemisferische lichttransmissie (%) bij Gewalst glas, met de structuurzijde buiten of binnen, met en zonder condens en met of zonder AR-coating.

De data in figuren 4 en 5 zijn samengevat in Tabel 7. Daar en uitgebreider in Bijlage III wordt het effect van AR-coating op de totale hemisferische transmissie vergeleken. Bij Prismatic wordt de hemisferische transmissie door een AR-coating met ca. 5% verhoogd en bij Gewalst glas met ca. 7%, dus beide in dezelfde orde van grootte. Bij AR met condens wordt het positieve effect van AR op de lichttransmissie met zo'n 2% verminderd, wat ook theoretisch verwacht kan worden.

Tabel 7. De invloed van AR-coating op de hemisferische lichttransmissie (%) van Prismatic en Gewalst glas.

Glastype	Structuurzijde	Invloed AR-coating	
		Transmissie droog (%)	Transmissie met condens (%)
Prismatic	Buiten	+5.2	+4.0
	Binnen	+5.6	+3.2
Gewalst	Buiten	+7.4	+4.9
	Binnen	+7.0	+4.7

4 Conclusies en aanbevelingen

1. Zonder condens (droog) is de lichttransmissie van diffuus glas gelijk wanneer de structuurzijde naar buiten (naar lichtbron toe) of naar binnen (van lichtbron af) is gericht, en bevestigd de resultaten van Stanghellini et al., (2011).
2. Condens in de vorm van een film op het glas levert een iets hogere lichttransmissie op dan condens in de vorm van fijne druppels.
3. Onder een prismatic glasdek met condens is 3% meer transmissie gemeten in de kas dan onder een kasdek met helder glas met condens. Onder labomstandigheden hadden dezelfde typen glas in droge toestand dezelfde lichttransmissie, en met condens verbeterde de lichttransmissie bij prismatic glas ten opzichte van helder glas met circa 1%. Hierbij dient opgemerkt te worden dat in de kas is condens op het glas ongelijk (vaak als waterfilm) verdeeld, en dat druppels op het glas gespoten niet helemaal hetzelfde is als condens.
4. AR coating verhoogt de lichttransmissie, maar verhoogt het minder met condens dan zonder condens.
5. Condensvocht wordt langer vastgehouden door Prismatic glas dan door float glas.
6. Algemene conclusie: meer condens betekent meer lichttransmissie bij diffuus glas. Vooral tijdens die uren dat licht schaars is (ochtend-, middag-, winteruren) wanneer de kasdek vochtig is met condens, komt er meer (diffuus) licht de kas binnen en kan benut worden voor de fotosynthese.
7. Aanbevolen wordt:
 - vervolgonderzoek uit te voeren naar het invloed van (natuurlijk gevormd) condens wanneer structuurzijde naar binnen vs buiten is gericht.
 - vervolgonderzoek uit te voeren naar structuren en/of coatings die de vorming van een waterfilm bevorderen.

5 Referenties

Heinemann, P.H. & Walker, P.N. 1987. Effects of greenhouse surface heating water on light transmission. *American Society of Agricultural Engineers* 30: 215-220.

Janse J., Moerenhout, S., Kempkes, F. & Dueck, T. 2012. Vroege komkommerteelt onder diffuus glas. Wageningen UR Rapport GTB-1183. 32 blz.

Pieters, J.G., De Clercq, S.M.R. & Pollet, I.V. 1998. Simulating the effect of condensation type on greenhouse shortwave radiation transmission and utilization. *Acta Horticultura* 456: 313-320.

Stangellini, C., Mohammadkhani, V., Bruins, M.A., Hemming, S., Sonneveld, P. & Swinkels G.J. 2011. Condensatie tegen het kasdek. Wageningen UR Rapport GTB-1025, 50 blz.

Bijlage I.

Eigenschappen van de gebruikte glasmonsters

Glastype	AR coating	Haze (%)	Hemisferische lichttransmissie (%)	Loodrechte lichttransmissie (%)
Float1	Geen		82.1	89.5
Float2	Geen		81.8	89.4
Float3	Wel, 2-zijdig		89.7	95.7
Float4	Wel, hydrofoob		88.4	95.8
Prismatic1	Geen	84	77.5	92.1
Prismatic2	Wel, Prismatic1 + AR	85	83.1	97.2
Prismatic3	Wel	73	81.0	92.9
Prismatic4	Wel	72	82.3	93.4
Prismatic5	Wel, 2-zijdig	71	86.0	96.8
Prismatic6	Geen	70	80.4	91.6
Prismatic7	Wel	58	84.9	93.6
Gewalst1	Geen	76	79.0	92.2
Gewalst2	Wel, gewalst1 + AR	77	86.0	97.6
Gewalst3	Wel, 2-zijdig	59	84.4	93.5
Gewalst4	Geen	17	83.3	91.8
V-groeven1	Geen	60	78.8	91.3
V-groeven2	Geen	39	81.0	91.0
Geëtst1	Wel	78	87.1	97.8
Geëtst 2	Wel, 2-zijdig	33	86.1	94.7

Gemeten glasmonsters waren droog

Diffuus glasmonsters zijn gemeten met de structuurzijde naar buiten gericht

Bijlage II.

Hemisferische transmissie van glas, met en zonder condens

Glastype	Structuur-zijde	Lichttransmissie (%)		Relatief effect (nat-droog)/droog
		Droog	Condens	
Float1		82.1	82.6	0.6%
Float2		81.8	82.6	1.0%
Float3		89.7	88.1	-1.8%
Float4		88.4	82.3	-6.8%
Prismatic1	Buiten	78.2	78.4	0.2%
	Binnen	77.5	82.3	6.2%
Prismatic2	Buiten	83.4	82.4	-1.1%
	Binnen	83.1	85.5	2.8%
Prismatic3	Buiten	81.1	81.3	0.2%
	Binnen	81.0	84.3	4.1%
Prismatic4	Buiten	82.6	81.7	-1.2%
	Binnen	82.3	83.2	1.1%
Prismatic5	Buiten	86.2	84.6	-1.9%
	Binnen	86.0	85.7	-0.4%
Prismatic6	Buiten	80.5	81.1	0.7%
	Binnen	80.4	80.4	0.0%
Prismatic 7	Buiten	85.3	84.6	-0.9%
	Binnen	84.9	87.4	3.0%
Gewalst1	Buiten	79.2	80.0	1.0%
	Binnen	79.0	81.0	2.5%
Gewalst2	Buiten	86.6	84.9	-2.0%
	Binnen	86.0	85.7	-0.4%
Gewalst3	Buiten	84.5	83.7	-1.0%
	Binnen	84.4	87.0	3.0%
Gewalst4	2-zijdig	83.3	83.2	-0.2%
V-groeven1	Verticaal	78.8	79.1	0.5%
	Horizontaal	81.1	81.5	0.5%
V-groeven2	Verticaal	81.0	80.4	-0.8%
	Horizontaal	82.3	81.4	-1.1%
Geëtst1	Buiten	87.3	87.3	0.1%
	Binnen	87.1	85.8	-1.6%
Geëtst2	2-zijdig	86.1	84.9	-1.4%

Bijlage III.

Invloed van AR-coating op lichttransmissie

Structuurzijde		Hemisferische transmissie (%)		
		Prismatic +AR	Prismatic -AR	Invloed AR
Binnen	Droog	83.4	78.2	+5.2%
	Condens	82.4	78.4	+4.0%
Buiten	Droog	83.1	77.5	+5.6%
	Condens	85.5	82.3	+3.2%
		Gewalst +AR	Gewalst -AR	Invloed AR
Binnen	Droog	86.6	79.2	+7.4%
	Condens	84.9	80.0	+4.9%
Buiten	Droog	86.0	79.0	+7.0%
	Condens	85.7	81.0	+4.7%