



Verbetering lichtinval winterlicht

Frank Kempkes, Gert-Jan Swinkels en Silke Hemming

Rapport GTB-1375

Referaat

In de winter is onder Nederlandse omstandigheden licht de beperkende factor voor de groei van het gewas. Het ontwerp van de Venlo kas is niet wezenlijk veranderd gedurende vele jaren. Echter de ontwikkeling van diffuus glas en het gebruik van antireflectie coatings zijn van recente datum en kunnen betekenen dat het ontwerp van het Venlo kasdek moet worden herzien. Dit rapport toont de resultaten van Ray-tracing berekeningen van het effect van verschillende maatregelen zoals dakhelling, nok oriëntatie, symmetrie van het kasdek, reflectie van de constructiedelen en het effect van condensatie op lichttransmissie van de kas. De resultaten laten zien dat het mogelijk is om de lichttransmissie met meer dan 10% te verhogen als een combinatie van maatregelen worden genomen. Effecten van standaard glas bij deze maatregelen op de transmissie zijn hoger dan bij diffuus glas. De metingen aan het effect van condensatie toont een enorme variatie, maar gemiddeld blijkt dat condensatie 2% licht kan kosten (standaard glas), maar ook 6% licht kan opleveren. De economische haalbaarheid en eventuele beperkingen in de constructies zijn bij de berekeningen niet meegenomen. De optimale winterlichte kas betekent een complete re-design van het Venlo kasdek.

Abstract

In winter at northern latitudes light is the limiting factor for crop growth. The design of the Venlo greenhouse has not changed for many years although the development of diffuse glass and use of Anti Reflection coatings were only recent. This report shows results of Ray-tracing calculations of the effect of several measures as roof slope, ridge orientation, symmetry of the roof, reflection of the construction elements and the effect of condensation on light transmission of the greenhouse. Results show that it is possible to increase light transmission by more than 10% in case a combination of measures are taken. Effects of standard glass on transmission are higher than with diffuse glass. The measurements on the effect of condensation shows a huge variation but in average condensation can cost you light, 2% (standard glass) but can gain light as well, up to 6%. Economic feasibility and restrictions in constructions are not taken into account. The optimal winter light greenhouse means a complete re-design of the Venlo type greenhouse cover.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1375

Projectnummer: 3742189800

PT nummer: 15043

Disclaimer

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

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

Adresgegevens

Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Materialen en methoden	9
	2.1 Aanpak	9
	2.2 Ray-tracing model	10
	2.2.1 Randvoorwaarden Raypro model	11
	2.2.2 Nauwkeurigheid Raypro model	13
	2.3 Kasdekmaterialen	13
	2.4 Referentiekas	15
	2.5 Constructiematerialen	16
	2.6 Condensmetingen	17
3	Resultaten modelberekeningen	19
	3.1 Inleiding	19
	3.2 Referentie	19
	3.3 Effect van diffuus glas op de lichttransmissie	20
	3.4 Effect van de dakhelling	22
	3.5 Effect van de nokoriëntatie	24
	3.6 Effect van een asymmetrisch kasdek met gelijke nokhoogte	26
	3.7 Effect van een asymmetrisch zaagtand kasdek	29
	3.8 Effect van een tunnelkas met holle of bolle dekvorm	32
	3.9 Effect van de hoekafhankelijke transmissie van het kasdekmateriaal	34
	3.9.1 Inleiding	34
	3.9.2 Bestaande coatings	34
	3.9.3 Virtuele coatings	37
	3.10 Effect van de optische eigenschappen van de constructiematerialen	39
	3.10.1 Referentiekas	39
	3.11 Asymmetrische kas met een zaagtand kasdek	40
	3.12 Effect van condensatie tegen het kasdek	41
	3.13 Winterlichtkas	42
4	Resultaten condensmetingen	45
	4.1 Glaseigenschappen	45
	4.2 Condensgedrag	46
	4.3 Transmissie effect	46
5	Conclusies	49
6	Literatuur	53
	Bijlage 1 Figuren hoekafhankelijke transmissie effect	55

Samenvatting

In de wintermaanden is het belangrijk om een hoge en kwalitatief goede gewasproductie te realiseren. In deze periode zijn productprijzen doorgaans hoog, waardoor juist de winterproductie voor telers belangrijk is. In Nederland zijn de gemiddelde stralingsommen in de winter tien keer lager dan in de zomer. Er is dan ook sprake van licht als beperkende groeifactor. Desondanks is het belangrijk om het beschikbare natuurlijke licht zo veel mogelijk voor de gewasproductie te benutten. Het huidige ontwerp van de Venlo kas is al vele jaren het zelfde. Echter in de afgelopen jaren zijn er op een aantal belangrijke onderdelen in het kasdek wel ontwikkelingen geweest die mogelijk nieuw licht op het huidige ontwerp kunnen laten schijnen. De belangrijkste hiervan zijn de komst van diffuus glas, de toepassing van AR coatings en de combinatie van voorgaande twee op het condensatiegedrag in de kas. In dit rapport is naast de beste bekende materialen ook met virtuele materialen met behulp van Ray-tracing het effect van:

- Diffuus glas.
- Dakhelling.
- Nokoriëntatie.
- Asymmetrisch kasdek met gelijke nokhoogte.
- Asymmetrisch zaagtand kasdek.
- Tunnelkas met holle of bolle dekvorm.
- De hoekafhankelijke transmissie van het kasdekmateriaal.
- De optische eigenschappen van de constructiematerialen.
- Condensatie tegen het kasdek.

Op de transmissie van het kasdek doorgerekend om tot een ideaal kasdek voor de Nederlandse wintercondities (oktober- maart) te komen. Bovengenoemde punten kennen vaak een grote interactie met elkaar zoals bijvoorbeeld een asymmetrisch kasdek en de nok oriëntatie. Asymmetrische kasdekken zijn altijd gerelateerd aan een oost-west nok oriëntatie.

Het blijkt dat:

- Door een optimaal ontworpen constructiedelen in het kasdek maximaal 10% meer licht (verschil met en zonder constructie) te winnen in de wintermaanden in een Nederlandse kas.
- De gebruikelijke "standaard" dakhelling van 22 á 23° voor diffuus glas goed functioneert
- Een asymmetrisch kasdek met gelijke nokhoogte als de huidige Venlo kassen en twee schuine dakvlakken geen lichtwinst boekt.
- Door een asymmetrisch kasdek in een zaagtandvorm 2-4% lichtwinst kan worden geboekt bij een Oost-West nokoriëntatie maar dat de constructiedelen hier zeer veel invloed op hebben.
- Spiegelende constructiedelen 3-6% lichtwinst op leveren.
- De bestaande AR coatings geen lichtwinst opleveren als alleen naar de hoekafhankelijke transmissiecurve gekeken worden en de transmissie gelijk wordt gesteld aan de referentie.
- Nieuwe coatings die de hoekafhankelijke transmissie verhogen kunnen tot een additionele lichtwinst van 3-7% leiden, let wel dit zijn fictieve coatings.
- Alle effecten van de diverse onderzochte onderdelen zijn kleiner onder een diffuus kasdek dan onder een helder kasdek.

Een combinatie van de bovengenoemde effecten van de diverse elementen levert een lichtwinst op van 13 – 14% indien de volgende elementen gecombineerd worden in een "Winterlichtkas": Een zaagtand met 25° dakhelling aan de noordzijde, spiegelende constructiedelen en diffuus glas.

Wanneer hier een geoptimaliseerde AR coating aan wordt toegevoegd kan de transmissie nog met naar schatting maximaal 8% worden verhoogd. Bij deze berekeningen is geen rekening gehouden met eventuele fysieke of economische beperkingen die bij de uiteindelijke bouw van zo'n kas op kunnen treden. Eventuele fysieke beperkingen en de economische haalbaarheid van opties zullen bij een uiteindelijk ontwerp een grote rol gaan spelen.

In een kasexperiment zijn 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 geëët met verschillende AR-coatings, toegepast.

Een grote spreiding (welke bij structuur glas groter is dan bij het vlakke glas) bij de 'kasexperiment metingen' geeft aan dat de metingen ergens door worden beïnvloed. De metingen zijn niet goed reproduceerbaar, maar de oorzaak hiervan is onduidelijk wat het moeilijk maakt om de resultaten te duiden en tot conclusies te komen. Voor dit type metingen zal een meetprotocol onder laboratorium omstandigheden benodigd zijn.

De metingen hebben de onnauwkeurigheid in acht nemende tot de volgende inzichten geleid:

- Er zijn duidelijke verschillen tussen de glassoorten en de grote en de oorzaak van deze verschillen zijn onduidelijk.
- Het standaard tuinbouwglas heeft nat een lagere transmissie dan onder droge omstandigheden.
- Het verschil (gemiddeld) tussen 'kasexperiment metingen' en metingen in het laboratorium zijn beperkt en variëren rond de meetnauwkeurigheid.
- Alle onderzochte diffuse glas heeft in de meting bij het kasexperiment nat een hogere transmissie dan droog.

De berekeningen met de ray-tracing en de metingen aan het effect van condensatie hebben laten zien dat er nog veel licht te winnen maar ook te verliezen is als er verkeerde keuzes in het kasontwerp of bij het kasdek materiaal gemaakt worden. Ten opzichte van de huidige standaard Venlo kas moet het mogelijk zijn zeker meer dan 10% lichtwinst te behalen.

1 Inleiding

Vooraf in de wintermaanden is het belangrijk om een hoge en kwalitatief goede gewasproductie te realiseren. In deze periode zijn productprijzen doorgaans hoog, waardoor juist de winterproductie voor telers belangrijk is. In Nederland zijn de gemiddelde stralingsommen in de winter tien keer lager dan in de zomer. Er is dan ook sprake van licht als beperkende groeifactor. Desondanks is het belangrijk om het beschikbare natuurlijke licht zo veel mogelijk voor de gewasproductie te benutten. Onderzoek van Marcelis *et al.* (2014) heeft laten zien dat vooral in de winter 1% meer licht 0.8-1% meer productie geeft. Ook in eerdere studies zoals 'Optimale lichtomstandigheden bij de transitie naar een 'energiezuinige kastuinbouw' (Hemming *et al.* 2004), 'Optimaal kasdek' (TNO, 2004), 'Diffuus licht' bij diverse gewassen (Dueck *et al.* 2012), 'Anti-reflectie-coating voor tuinbouwglas: eerste praktijkervaringen' (Hemming *et al.* 2006) en 'Condensatie tegen het kasdek: licht- en energie-effecten van condensatie op acht kasdekmaterialen' (Stanghellini *et al.* 2010), hebben laten zien dat de eigenschappen van het kasdek in de tijd kunnen variëren, dat er omstandigheden zijn dat de eigenschappen verslechteren, maar ook dat er mogelijkheden voor verbetering zijn.

Natuurlijk zonlicht is gratis en moet dan ook zo veel mogelijk voor de gewasproductie in een kas worden gebruikt. Daarnaast geldt vooral in de winter dat elk Joule zonlicht gratis energie-inbreng in de kas betekend, er hoeft dan minder additioneel gestookt te worden.

Hoe het winterlicht optimaal voor het gewas ter beschikking komt, is afhankelijk van vele factoren. Deze factoren beïnvloeden elkaar onderling. Een grove opsplitsing is als volgt te maken:

- Structuur van de kas (constructie elementen, oriëntatie, hellingshoek en of vorm van het kasdek [symmetrisch of asymmetrisch]).
- Inrichting van de kas (installaties in het dak).
- Kasdek materiaal (basismateriaal, toevoegen van coating(s), toevoegen van een diffuse structuur).
- Condensatie en vervuiling van het glas.
- Interactie van de hiervoor genoemde punten.

Uiteraard hebben gewasparameters als plantdatum en daarmee ontwikkelingsstadium en bladpakket, plantafstanden en gewasoriëntatie ook grote invloed op het totaalresultaat om zoveel mogelijk licht door het gewas te laten onderscheppen. Echter in deze studie is de systeemgrens boven het gewas gedefinieerd. Bovengenoemde punten moeten het mogelijk maken om in de winter meer dan 10% extra natuurlijk licht in de kas op het gewas te krijgen. Echter de weg naar deze lichtwinst is nog ongewis, ook omdat winst op het ene punt verlies voor het volgende kan zijn door de interactie tussen de afzonderlijke punten. Gezien de bewezen positieve effecten van diffuse kasdekmaterialen op de productie zullen de te nemen stappen zich vooral richten op diffuse materialen.

In deze studie is met behulp van ray-tracing techniek eerst de afzonderlijke effecten en vervolgens de gecombineerde effecten op de lichtsom op het gewas voor het winter halfjaar bepaald.

In een proefopstelling in een kasafdeling bij Wageningen UR glastuinbouw is het effect van condens op de lichttransmissie bij verschillende materialen bepaald. Deze resultaten worden gebruikt om de aannames gemaakt bij de ray-tracing berekeningen van het condensatiegedrag te toetsen en te verbeteren.

2 Materialen en methoden

2.1 Aanpak

Het hier beschreven project kent verschillende elementen die worden onderzocht met behulp van ray-tracing model berekeningen.

Element 1: kasdekvorm, dakhelling en nokoriëntatie

Met behulp van ray-tracing wordt voor een standaard diffuus kasdek de kasvorm en dakhelling geoptimaliseerd. Hiervoor wordt naar zowel symmetrische als asymmetrische daken gekeken, de oriëntatie van de kap en de dakhelling. De gebruikelijke kasconstructiedelen als goot, roeden, tralieligger met één scherm worden voor alle constructies als gelijk verondersteld. Het dek bestaat uit diffuus glas met hoge lichtverstrooiing. Uitgangspunt zijn een Oost-West oriëntatie van de nok en een dakhelling van 23 graden, waarvan bekend is dat deze het beste presteren met helder glas (Hemming *et al.* 2004, Janssen *et al.* 2006). Omdat dit bij diffuse glazen en andere coating naar verwachting anders ligt, is deze optimalisatie nodig.

Element 2: glas en coating

Anti Reflectie coatings (AR) worden al veelvuldig toegepast. Hier is echter naar verwachting nog een optimalisatieslag te bereiken, immers er is altijd gewerkt naar een zo hoog mogelijke transmissie voor het gehele zonlicht spectrum, omdat deze coatings veelal afkomstig zijn uit de zonnecellen industrie. In enkele gevallen is de coating geoptimaliseerd voor hemisferische transmissie. Een verhoging van de transmissie bij kleine hoeken van inval is in de winter te prefereren boven een hoge(re) transmissie bij grote invalshoeken als wij de hoeveelheid natuurlijk licht in de wintermaanden centraal stellen. Deze optimalisatie wordt met behulp van lichtmodellen gemaakt. Er wordt dan ook bepaald aan welke eigenschappen de coating moet voldoen om het winterlicht wel in de kas te krijgen. Bestaande coatings zijn het vertrekpunt van deze berekeningen. Er wordt verder bepaald hoe een nieuwe coating optimaal eruit zou moeten zien in interactie van dekvorm, dakhelling en nokoriëntatie.

Element 3: condens

Het kwantificeren van condensvorming en het bepalen van de eigenschappen voor verschillende materialen is bijzonder intensief (in termen van zowel investeringen als arbeid) en valt daarmee al snel buiten de scope van dit project. Wij gaan daarom in dit project alleen focussen op gewenst condens gedrag, namelijk materialen waarvan bekend is dat zij in geval van condens een film vormen en daarmee relatief gezien de lichttransmissie verhogen. In ray-tracing berekeningen zal een aanname voor het effect van condensatie op de transmissie eigenschappen van het materiaal gebruikt worden. Hiermee wordt het potentieel van een goede condensvorming op het materiaal ten opzichte van de lichthoeveelheid in de kas in de winter verduidelijkt. In een proefopstelling in een "praktijk" kas is het effect van condens op de lichttransmissie bij verschillende materialen bepaald. Deze resultaten worden gebruikt om de aannames gemaakt bij de ray-tracing berekeningen van het condensatiegedrag naar de toekomst te toetsen en te verbeteren.

Element 4: transitie pad naar praktijktoepassing:

De in fase 1, 2 en 3 genoemde werkzaamheden en resultaten geven voor ieder onderdeel de potentiële verbetering in het gebruik van winterlicht aan. Als conclusie zal een ranking aangegeven worden welke van de 3 onderzochte oplossingsrichtingen de meeste potentie hebben voor optimalisatie en toepassing in de praktijk. In een workshop zijn de resultaten gepresenteerd en praktisch implementeerbare oplossingen voor de toekomst besproken.

2.2 Ray-tracing model

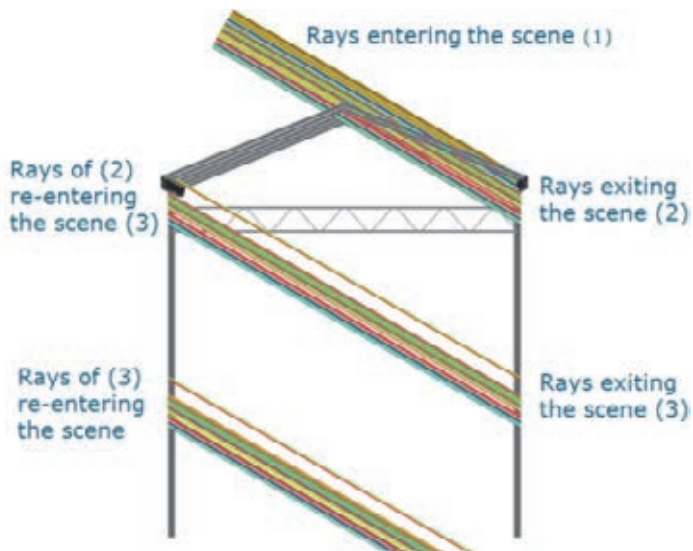
Het simulatiemodel Raypro berekent de optische eigenschappen van een object in een 3D omgeving. Het model is gebaseerd op ray-tracing, een methode waarmee een lichtstraal vanaf een lichtbron door het object gevolgd wordt. De geometrie van het object wordt vertaald naar een verzameling vlakken in een 3D omgeving. Licht wordt gemodelleerd als een groot aantal lichtstralen. De interactie van de lichtstraal met het object wordt bepaald op basis van de optische eigenschappen van het materiaal en optische wetten (Snellius, Fresnel). Zo wordt rekening gehouden met de lichtbreking, -absorptie en doorlatendheid van het object wanneer een lichtstraal een objectdeel raakt. Afzonderlijke lichtstralen worden, op basis van hun berekende hoek en intensiteit, uitpuddend door het object heen gevolgd totdat de intensiteit onder een bepaalde drempelwaarde komt. Zo kan de lichtstraal na opdeling in allemaal deel-straaltes worden geïnterpreteerd als reflectie, transmissie of absorptie.

Ray-tracing geeft een zeer realistische nabootsing van de werkelijkheid. Het meenemen van onderlinge invloeden van objecten, vaak een probleem bij niet op ray-tracing gebaseerde lichtberekeningsmodellen, gaat vanzelf. Dit maakt Raypro bijzonder geschikt voor het berekenen van de lichttransmissie van o.a. kasdekken of kasdekmaterialen, voor zowel direct als diffuus licht.

In Raypro kan een object worden gedefinieerd als oneindig of als eindig. In het eerste geval bestaat een object uit een aantal identieke vormen en wordt de kleinste vorm bepaald die niet repeterend is (Figuur 2.1). Deze wordt als uitgangspunt genomen voor de berekeningen en wordt in een assenstelsel geplaatst dat begrensd wordt door 6 grensvlakken, 2 horizontale (bodem- en topvlak) en 4 verticale (zijvlakken), samen een eenheid cel vormend. Om de oneindigheid van het object te simuleren worden de uit de cel tredende lichtstralen opnieuw ingebracht (Figuur 2.2). Bij een oneindig object geldende de resulterende transmissie, absorptie etc. altijd als factor ten opzichte van het invallend licht per m² grondoppervlak. Bij een eindig object wordt door de gebruiker zelf een referentievlak gekozen.



Figuur 2.1 Links: Raypro 3D model van een Venlo kas. Rechts: Door tijdens ray-tracing de kleinste repeterende eenheid een oneindig keer te repeteren in het horizontale vlak wordt het kasdek als oneindig groot beschouwd en treden geen randeffecten op.



Figuur 2.2 Lichtstralen die de kleinste repeterende eenheid verlaten, in dit geval een oppervlak van 1 kap bij 1 vak, worden door het model aan de tegenovergestelde zijde ingebracht zodat zij als het ware uit de volgende kap binnenkomen.

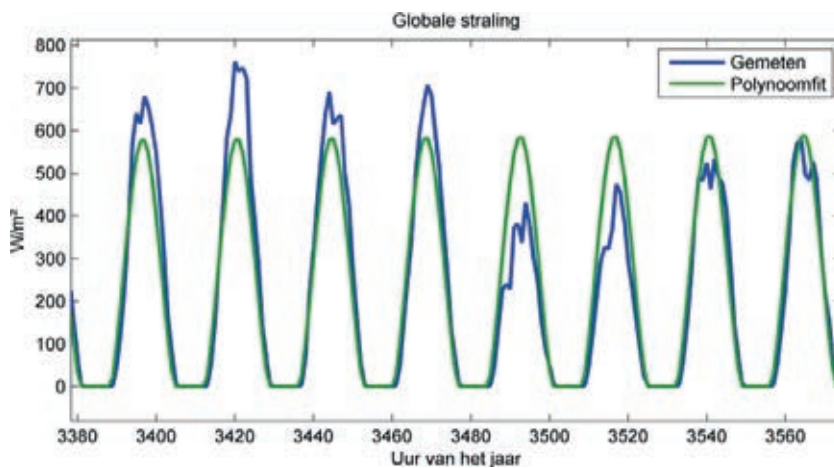
2.2.1 Randvoorwaarden Raypro model

Het Raypro model maakt gebruik van de kasdek materiaal eigenschappen als haze, hemisferische transmissie voor het diffuse licht en de hoekafhankelijke lichttransmissie voor het directe licht. Deze eigenschappen zijn voor een aantal materialen in het lightlab van Wageningen UR glastuinbouw bepaald. De haze wordt met een IS-SA™ (Imaging Sphere voor Scatter en Vormgeving Measurement) gemeten en de directe lichttransmissie onder hoeken van inval tussen 0° en 89° in het licht spectrum tussen 350 en 2000 nm wordt met de Transvision meetapparatuur gemeten. Uit de hoekafhankelijke transmissie wordt de hemisferische lichttransmissie berekend. Input voor de berekeningen is de hoeveelheid zonnestraling op een gegeven locatie (hier Nederland) op elk uur van het jaar. Met het ray-tracing model wordt o.a. de transmissie van het kasdek bepaald voor hemisferisch en direct invallend licht onder elke mogelijke hoek van de zon. Om te bepalen wat de effecten zijn van de transmissie op het lichtniveau in de kas moet de transmissie voor het directe en diffuse zonnestralingsdeel worden bepaald. Om tot een lichtsom buiten of binnen in de kas boven het gewas te komen wordt het lichtniveau over een bepaalde periode gesommeerd.

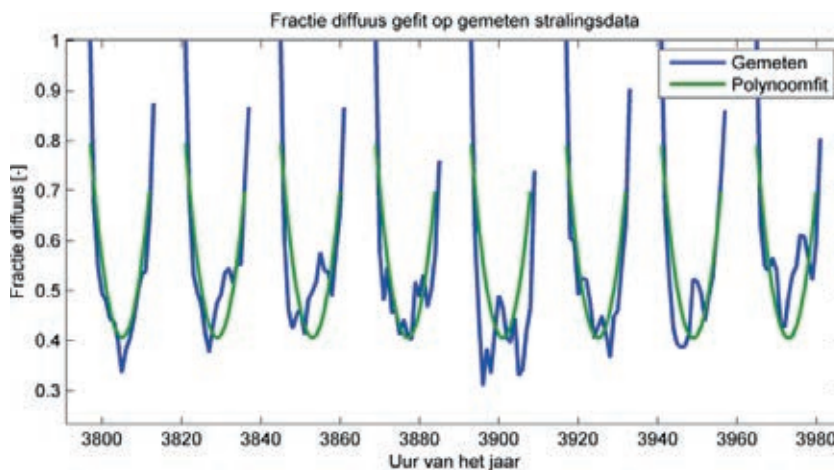
Om de invloed van verschillen in kasdek door het jaar heen inzichtelijk te maken is de werkelijk gemeten straling niet erg geschikt. Deze vertoont namelijk een grillig patroon, zowel in intensiteit als in de verhouding tussen directe en diffuse straling.

Om deze grilligheid weg te nemen is voor zowel de dagsom aan globale straling als voor het verloop over de dag (verhouding direct/diffuus) een polynoomfit gebruikt. Hierdoor loopt de straling geleidelijk op naar de zomer en verandert ook de verhouding direct/diffuus geleidelijk. Op jaarbasis is de lichtsom echter wel gelijk aan de gemeten straling.

In onderstaande grafieken zijn de meetwaarden geplot tegen de gefitte waarden voor respectievelijk de globale straling (Figuur 2.3) en de verhouding direct-diffuus (Figuur 2.4).

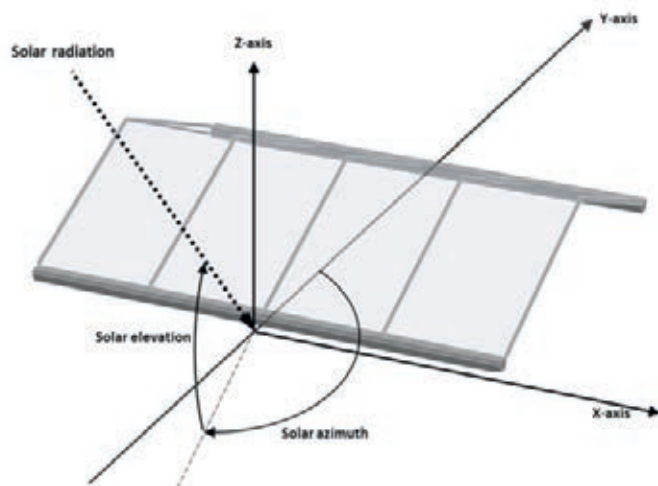


Figuur 2.3 Gemeten en gefitte globale straling afkomstig van het meteo station Haarweg van Wageningen Universiteit en is het gemiddelde van de jaren 2005 t/m 2010.



Figuur 2.4 Gemeten en gefitte fractie diffuus licht. Er is zowel door het jaar gefit als door de dag heen. De gegevens zijn afkomstig van het meteo station Haarweg van Wageningen Universiteit en is het gemiddelde van de jaren 2005 t/m 2010.

Op bovenbeschreven manier is een stralingsverloop van directe en diffuse straling bepaald dat geleidelijk verloopt en tegelijkertijd gebaseerd is op reële dagsommen. Hierdoor kunnen de gevolgen van verschillende soorten daken op de periode van het jaar inzichtelijk gemaakt worden. De hoeveelheid zonlicht op het dek is vervolgens de input voor de berekening van de hoeveelheid licht dat de kas binnenkomt en boven het gewas ter beschikking staat. Deze is afhankelijk van de elevatie en azimut van de zon, de hoeveelheid straling, de dakhelling en nokoriëntatie (Figuur 2.5). Daarnaast is deze afhankelijk van de lichtdoorlatendheid van het kasdek materiaal, de lichtverstrooiing van het kasdek materiaal, de lichtonderschepping door constructiedelen in het dek en de lichtverstrooiing (reflectie) van de constructiedelen. Deze elementen worden onderzocht met behulp van het ray-tracing model.



Figuur 2.5 Lichtinval op een kasdek, afhankelijk van elevatie en azimuth van de zon, de hoeveelheid straling, de dakhelling en nokoriëntatie.

2.2.2 Nauwkeurigheid Raypro model

De nauwkeurigheid van de gebruikte rekenmethode (ray-tracing) is onder anderen afhankelijk van de rekentijd. Door het grote aantal simulaties dat uitgevoerd is, was de rekentijd de beperkende factor, wat invloed heeft op de nauwkeurigheid. Uiteindelijk zijn in de conclusies de transmissiegetallen dan ook afgerond op hele procenten.

2.3 Kasdekmaterialen

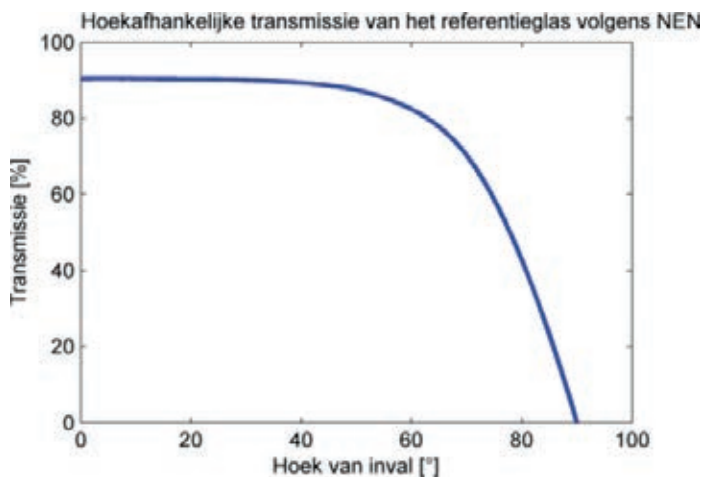
Tijdens de ray-tracing berekeningen werd gebruik gemaakt van een tweetal kasdekmaterialen. Een helder tuinbouwglas (referentie), zoals dat op veel praktijkkassen in Nederland voorkomt en een diffuus glas met een vergelijkbare hemisferische lichtdoorlatendheid (Tabel 2.1).

Tabel 2.1

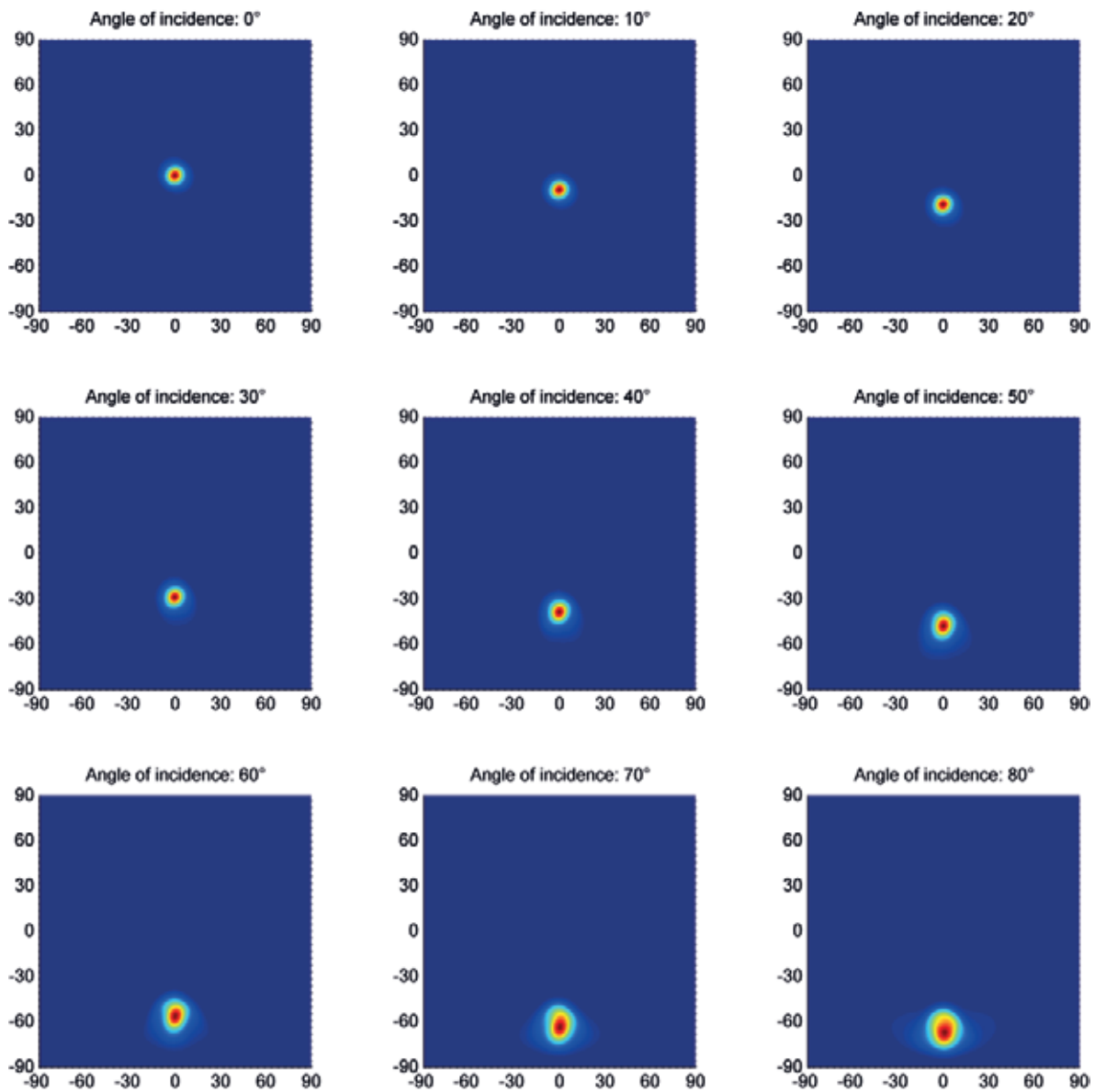
Overzicht van de lichtdoorlatendheid van kasdekmaterialen zoals meegenomen in de ray-tracing berekeningen.

	Loodrechte lichttransmissie (NEN 2675)	Hemisferische lichttransmissie (TNO/WUR lichtmeetprotocol)	Haze (WUR)
Helder	90.4%	82.9%	<1%
Diffuus	93.6%	82.9%	71%

De hoekafhankelijke transmissie wordt weergegeven in Figuur 2.6, waarbij loodrecht 0° is. Het lichtverstrooiingspatroon wordt in Figuur 2.7 getoond.



Figuur 2.6 Hoekafhankelijke transmissie van het referentieglass, voor zowel heldere als diffuse variant hetzelfde en met een hemisferische transmissie van 82.9%.



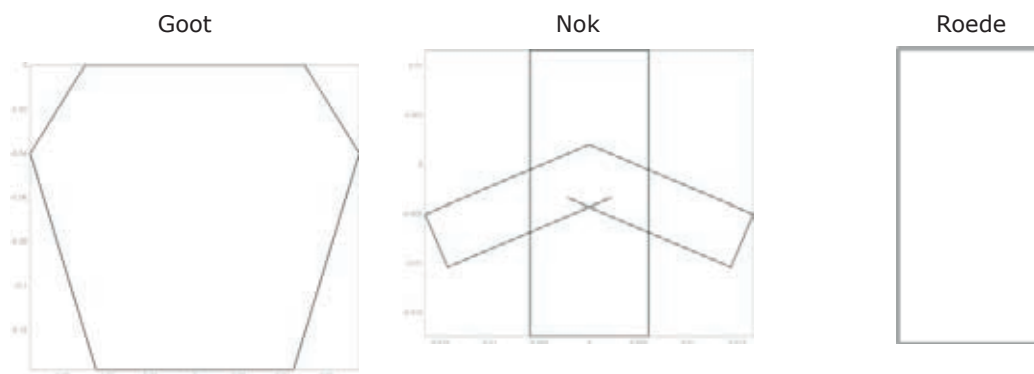
Figuur 2.7 Lichtverstrooiingspatroon van het diffuse referentieglass onder verschillende hoeken van inval. Het diffuse referentieglass heeft een haze van 71%.

2.4 Referentiekas

De referentie is een Venlo kasdek met een dakhelling van 23° met goot, nok en roeden (Figuur 2.8, Figuur 2.9). De overige constructieonderdelen bevinden zich beneden het kasdek materiaal en hiervan wordt aangenomen dat deze geen invloed hebben op het type kasdek materiaal, dakhelling of oriëntatie. De afmetingen van het kasdek worden weergegeven in Tabel 2.2. Berekeningen zijn gemaakt met diverse kasdekken, hiervoor is de lichtsom boven het gewas bepaald.



Figuur 2.8 3D model van het referentie Venlo kasdek dat gebruikt is voor de ray-tracing simulaties.



Figuur 2.9 Dwarsdoorsnedes van goot, nok en roede zoals gebruikt is voor de ray-tracing simulaties.

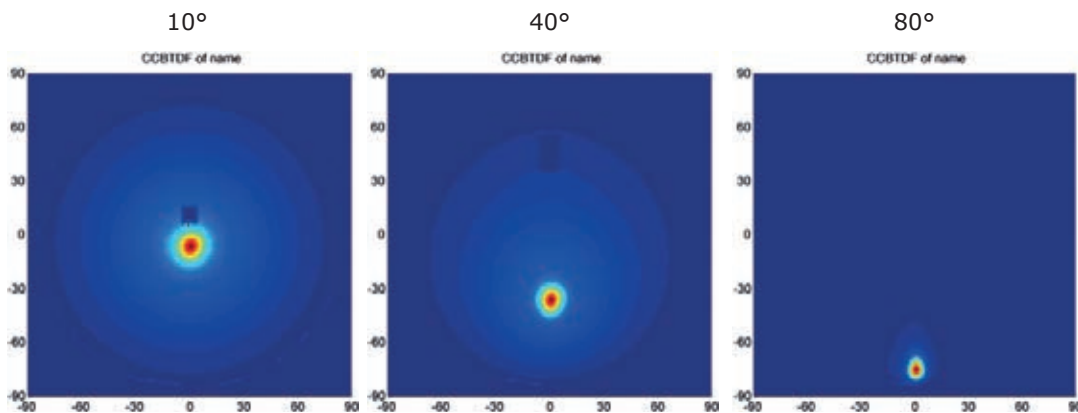
Tabel 2.2

Afmetingen van het referentie kasdek.

Onderdeel	Dimensionering
Kapbreedte	4 m
Dakhelling	23°
Vakmaat	4 m
Glasmaat	1.25 m
Nok	HxB = 290x360 mm, aluminium
Roeden	HxB = 460x230 mm, aluminium
Goot	HxB = 138x150 mm, aluminium

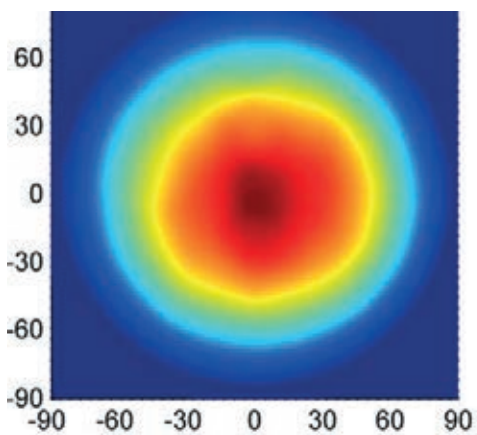
2.5 Constructiematerialen

Aluminium is het uitgangspunt voor alle constructieonderdelen met een reflectie van 60% en een invalshoekafhankelijke lichtverdeling van het reflecteerde licht, die gemeten is op de IS-SA in het lightlab van Wageningen UR. In Figuur 2.10 zijn de BSDF plots weergegeven voor enkele hoeken van inval.



Figuur 2.10 BSDF plots van aluminium voor verschillende hoeken van inval, gemeten op de IS-SA.

In enkele varianten is het effect van een gepoedercoate constructie doorgerekend. Hierbij is de hoekafhankelijke reflectie gelijk gesteld aan die van een Lambertiaanse diffusor, dus een homogene verdeling van het licht (zie Figuur 2.11).



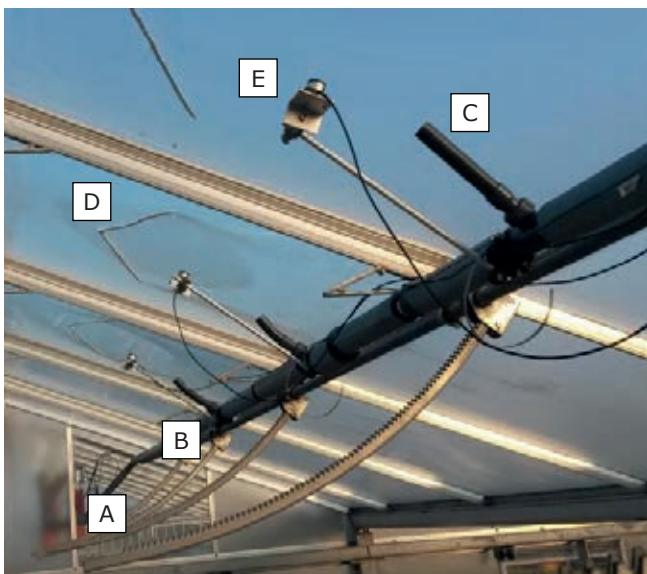
Figuur 2.11 BSDF plot van een Lambertiaanse diffusor die gebruikt is voor poedercoating, gemeten op de IS-SA. De lichtverdeling is onafhankelijk van de hoek van inval.

2.6 Condensmetingen

Condens ontstaat doordat de oppervlaktetemperatuur van een voorwerp onder de dauwpuntstemperatuur van de kaslucht daalt. Vorm van de condens (druppels en of film vorming) en de hoeveelheid die momentaan op de ruit aanwezig is, zijn afhankelijk van de oppervlakte-eigenschappen van het materiaal. Kwantificering van de vorm en hoeveelheid van het condens zijn in dit project alleen visueel in beschouwing genomen. Alleen de effecten op de transmissie tussen droog en gecondenseerd zijn gemeten. Hiervoor zijn ruiten in een op het zuiden gericht luchtraam van afdeling 8.05 met doorlopende nokluchting, door verschillende glassoorten in sets van twee vervangen. De nokrichting staat 17° uit de oost-west richting zodat van een goede oost west kap oriëntatie gesproken kan worden. Hierdoor zullen de metingen "symmetrisch" zijn, de lichtcondities in de ochtend moeten dan goed vergelijkbaar zijn met die in de avond. Het luchtraam is uitgeschakeld zodat de positie van de sensoren altijd gelijk is gebleven ten opzichte van het glas en er geen drogende luchtstroom langs het raam kan ontstaan zodat de zekerheid op condens maximaal verondersteld mag worden. Er is echter geen zekerheid dat de ruiten altijd nat waren en daarop is regelmatig alleen visueel gecontroleerd bij het ontbreken van bruikbare meetapparatuur.

Bij de keus voor glassoorten is getracht spreiding in oppervlaktestructuur en toegepaste AR coatings te verkrijgen. Van iedere set is er één ruit (deels) drooggeblazen met droge verwarmde lucht uit de corridor. Onder iedere ruit is een PAR sensor (PAR quantum sensor PQS 1 Kipp & zonen) evenwijdig aan het glas aan de binnenkant van de kas geplaatst op een afstand van 6 centimeter van het glas. De sensoren zijn aangesloten op een DT-500 Datataker welke de gemiddelde waarde, bestaande uit 3 samples, per minuut heeft opgeslagen. Daarnaast zijn voor eventueel gebruik tijdens de analyse ook de globale straling, diffuse straling, PAR en de regenmelding meting van de weertoren van Wageningen UR glastuinbouw in Bleiswijk, welke op de klimaatcomputer zijn aangesloten, opgeslagen.

Figuur 2.12 geeft een overzicht van de meetopstelling waarbij ook de droge spot is te herkennen. De verschillen in PAR straling tussen de droge en natte ruit geeft een indicatie over het lichtverlies danwel lichtwinst ten gevolge van condens op dat type ruit. Om de condensatiestroom tegen het kasdek op gang te houden zijn de ruiten geplaatst in een afdeling die 20°C in de nacht en tot 30°C overdag kan oplopen bij een RV van minimaal 80 % in de nacht en 85 á 90 % overdag. Om dit te bereiken is de verneveling veelvuldig ingezet. In de periode van 30 januari t/m 30 mei zijn de metingen verricht, waarvan de data na 5 mei zijn gebruikt voor de kalibratie van de PAR sensoren.



Figuur 2.12 Overzicht meetopstelling van droogblazen van de ruiten. A) verwarmingselementen in de corridor, B) geïsoleerde transportbuis van de verwarmde lucht, C) uitstroom opening verwarmde lucht, D) afdruiprand om aflopend condenswater over de droge spot te voorkomen, E) PAR sensor.

3 Resultaten modelberekeningen

3.1 Inleiding

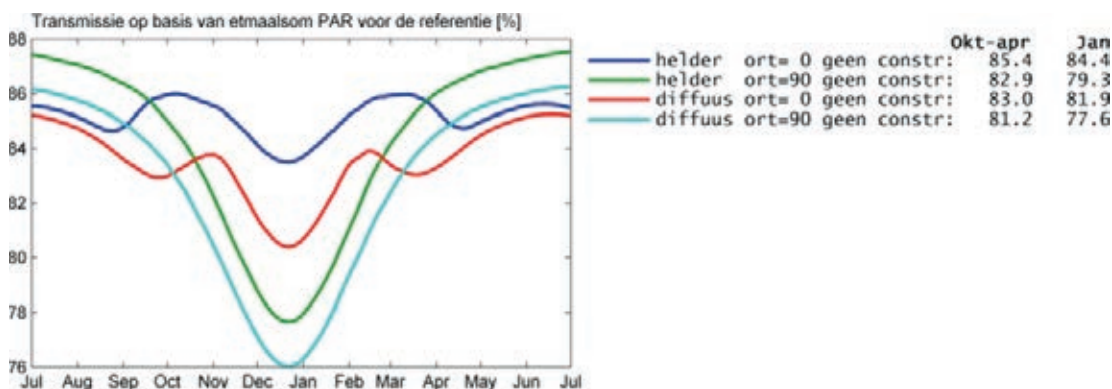
Om tot een optimaal kasdek te komen zijn een groot aantal parameters doorgerekend waaronder dakhelling, oriëntatie, de invloed van de kasconstructie en het verschil tussen helder en diffuus glas. Om de verschillende varianten onderling goed te kunnen vergelijken is de lichtopbrengst uitgedrukt als de etmaalsom van doorgelaten PAR in verhouding tot de dagsom aan inkomende PAR. Dit getal wordt in de resultaten weergegeven als "Transmissie op basis van etmaalsom PAR" en is in feite de lichttransmissie van het kasdek, gewogen naar stralingsintensiteit. Om het belang van de winterperiode te kwantificeren met één getal zijn voor 2 perioden de dagsommen gesommeerd tot een periodetotaal, namelijk voor de maand januari en voor de periode oktober t/m april.

De berekeningen zijn telkens uitgevoerd voor helder glas en diffuus glas, met en zonder constructiedelen (goot, nok en roeden) en voor 2 oriëntaties. Een oriëntatie van 0° betekent een Oost-West richting van de goot, een oriëntatie van 90° een Noord-Zuid gootrichting.

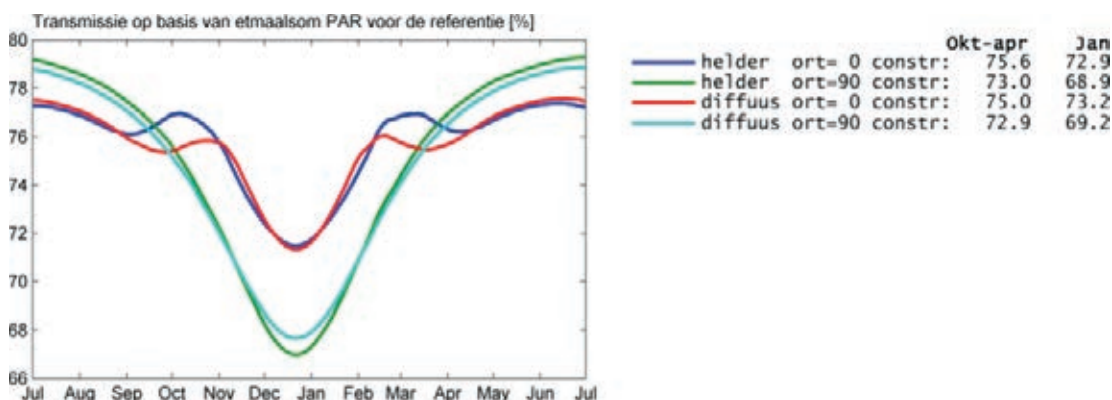
3.2 Referentie

In onderstaande grafieken zijn de resultaten van de referentie weergegeven voor de varianten geen/met constructie en helder/diffuus en oriëntatie O-W en N-Z. Hieruit blijkt dat het referentie Venlo dek met dakhelling van 23°, O-W georiënteerd en inclusief goot, nok en roeden respectievelijk 76% en 73% van het inkomende licht doorlaat in de maanden oktober t/m april en januari bij toepassing van helder glas.

Zonder constructie



Met constructie



Figuur 3.1 Effect van helder en diffuus glas met een dakhelling van 23° in een Venlo dekvorm voor twee verschillende nokoriëntaties (0=Oost-West en 90=Noord-Zuid); berekeningen met en zonder constructiedelen.

De figuren laten de jaarrond dagelijkse lichtsom van een standaard Venlo kas zien voor verschillende nok-oriëntaties, met helder en diffuus glas en met of zonder kasconstructie.

Voor de referentiekas geldt dat een nok-oriëntatie van 0 graden (Oost-West) het gunstigst is. Een uitgebreide analyse hiervan wordt beschreven in paragraaf 3.5. Verder is het toepassen van een diffuus kasdek materiaal ten opzichte van een helder materiaal ongunstig voor de totale lichttransmissie van het kasdek, zelfs bij gelijke hoekafhankelijke en hemisferische transmissie van de materialen. Dit komt door een extra opwaartse verstrooiing (paragraaf 3.3). Ten slotte heeft ook de constructie altijd nog een grote invloed op de transmissie, voor de kas met helder dek ca. 10% punten extra onderschepping, voor de kas met een diffuus dek ca. 8% punten. De kasconstructie verkleint het verschil tussen helder en diffuus glas omdat de constructiematerialen zelf ook licht (opwaarts) verstrooien. Bij lage zonnestanden (in januari) is de opwaartse verstrooiing door de constructie het grootst en daarmee het verschil tussen helder en diffuus glas het kleinst.

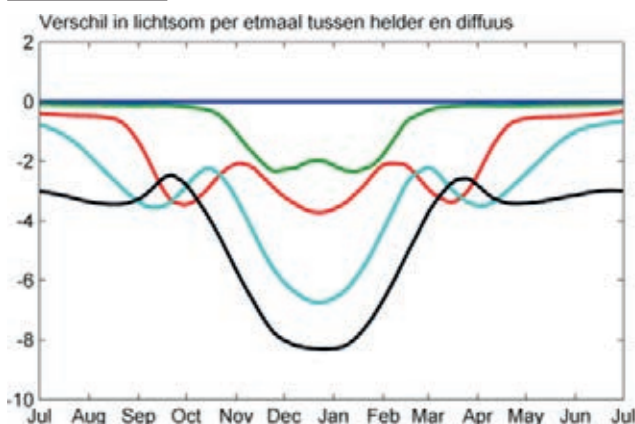
3.3 Effect van diffuus glas op de lichttransmissie

Een diffuus dek materiaal heeft een principiële nadelig effect op de lichttransmissie bij een dakhelling groter dan nul. Dit effect staat los van de hoekafhankelijke transmissie van het materiaal en wordt veroorzaakt door een extra opwaartse verstrooiing van het licht, iets wat bij helder glas niet voorkomt. Dit verlies komt bovenop het normale reflectieverlies.

Onderstaande figuren laten het verschil zien tussen een diffuus dek en een helder dek bij verschillende dakhellingen en oriëntaties (0=Oost-West en 90=Noord-Zuid). Uitgangspunt bij de berekeningen is een gelijke hoekafhankelijke transmissie van het heldere en diffuse materiaal.

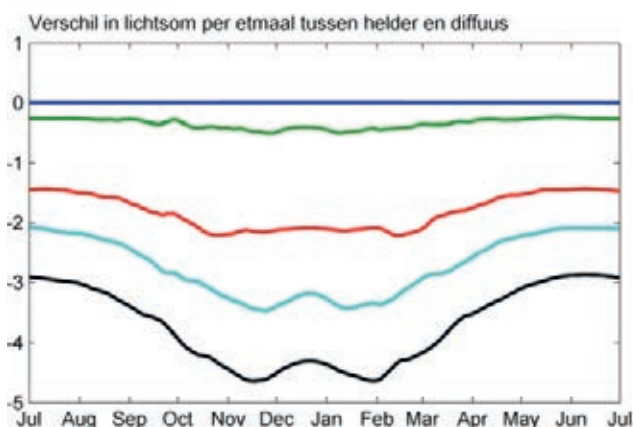
Zonder constructie

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling:	0.0	0.0
10° dakhelling:	-0.9	-2.2
23° dakhelling:	-2.9	-2.9
30° dakhelling:	-3.6	-5.7
40° dakhelling:	-4.8	-7.7

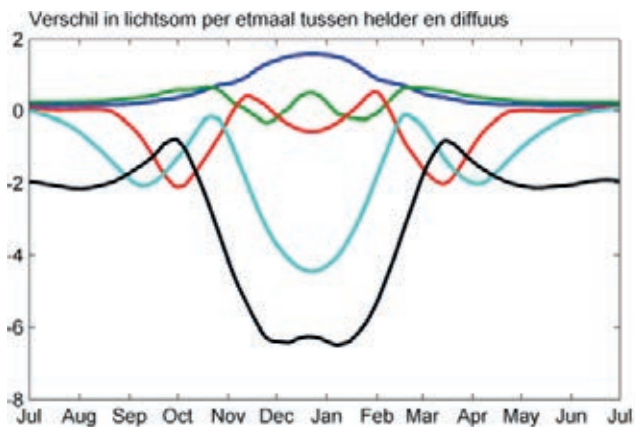
Oriëntatie = 90°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling:	0.0	0.0
10° dakhelling:	-0.4	-0.5
23° dakhelling:	-2.0	-2.1
30° dakhelling:	-3.1	-3.4
40° dakhelling:	-4.2	-4.5

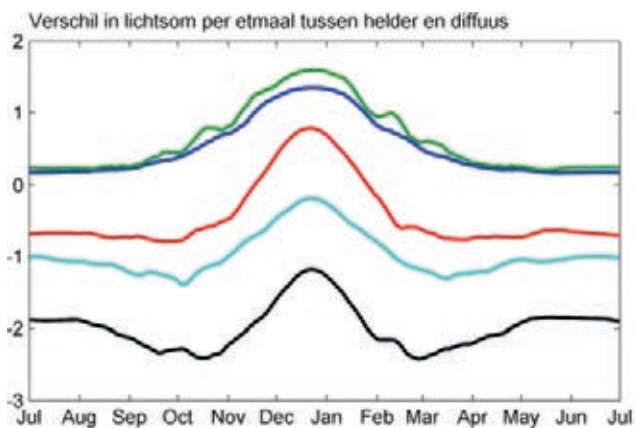
Met constructie

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling:	0.7	1.3
10° dakhelling:	0.4	-0.1
23° dakhelling:	-1.0	0.0
30° dakhelling:	-1.5	-3.3
40° dakhelling:	-3.1	-6.2

Oriëntatie = 90°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling:	0.7	1.1
10° dakhelling:	0.8	1.3
23° dakhelling:	-0.4	0.3
30° dakhelling:	-1.0	-0.5
40° dakhelling:	-2.1	-1.7

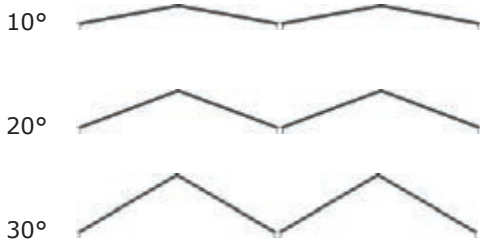
Figuur 3.2 Effect van een diffuus dek met verschillende dakhellingen vergeleken met een helder dek met een dakhelling van 23° in een Venlo dekvorm voor twee verschillende nokoriëntaties (0=Oost-West en 90=Noord-Zuid); berekeningen met en zonder constructiedelen.

Conclusie:

Bij een dakhelling rond 23° kan lichtverlies van diffuus glas t.o.v. helder glas in theorie oplopen tot 3% (O-W oriëntatie geen constructie)) maar de kasconstructie heeft een gunstige effect zodat het verlies beperkt blijft tot maximaal 1%. Bij een dakhelling van 40° is het nadelige effect van diffuus glas zelfs 8% in de maand januari.

3.4 Effect van de dakhelling

Onderstaande figuren laten het effect zien van verschillende dakhellingen (Figuur 3.3) van een diffuus of helder dek met een Venlo dekvorm voor twee verschillende nokoriëntaties (0°=Oost-West en 90° =Noord-Zuid) op de lichttransmissie boven het gewas (Figuur 3.4). Berekeningen zijn met en zonder constructiedelen uitgevoerd.

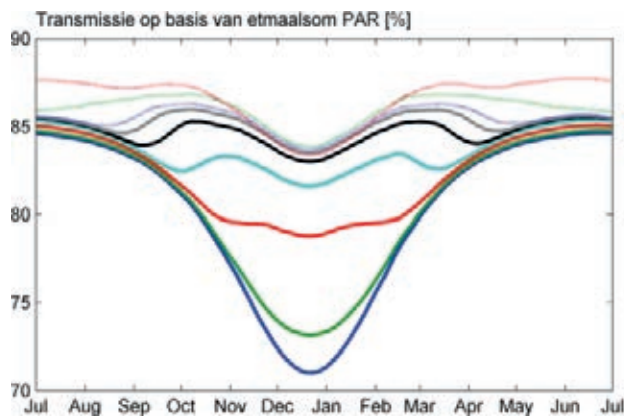


Figuur 3.3 Venlo kasdek met verschillende dakhellingen. De gootafstanden zijn gelijk gebleven.

Zonder constructie

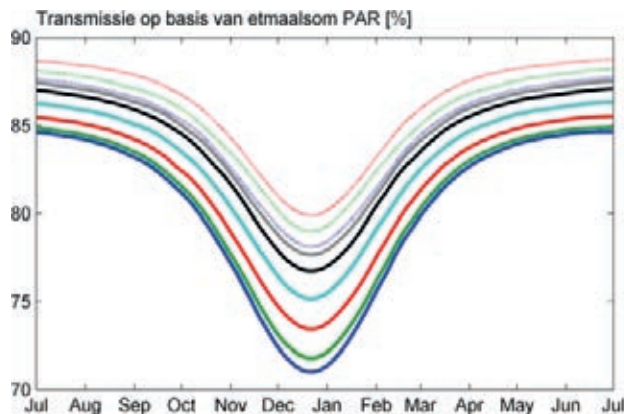
Helder

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling:	78.1	73.2
5° dakhelling:	78.7	74.5
10° dakhelling:	80.5	79.3
15° dakhelling:	82.8	82.4
20° dakhelling:	84.7	83.9
23° dakhelling:	85.4	84.4
25° dakhelling:	85.7	84.6
30° dakhelling:	86.2	84.9
40° dakhelling:	86.3	84.4

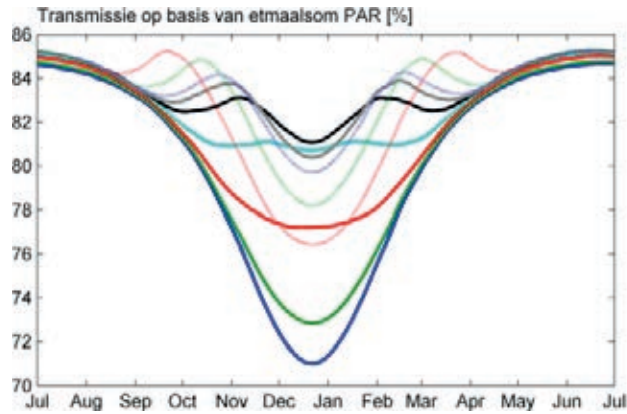
Oriëntatie = 90°



	okt-apr	Jan
0° dakhelling:	78.1	73.2
5° dakhelling:	78.6	73.9
10° dakhelling:	79.8	75.4
15° dakhelling:	81.1	77.1
20° dakhelling:	82.2	78.5
23° dakhelling:	82.9	79.3
25° dakhelling:	83.2	79.8
30° dakhelling:	83.9	80.7
40° dakhelling:	84.8	81.5

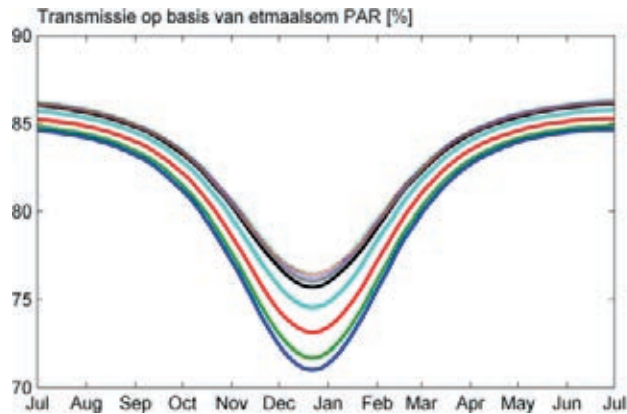
Diffuus

Oriëntatie = 0°



	okt-apr	Jan
0° dakhelling:	78.1	73.2
5° dakhelling:	78.6	74.4
10° dakhelling:	79.8	77.6
15° dakhelling:	81.4	81.0
20° dakhelling:	82.6	82.2
23° dakhelling:	83.0	81.9
25° dakhelling:	83.1	81.5
30° dakhelling:	83.1	80.0
40° dakhelling:	82.1	77.9

Oriëntatie = 90°

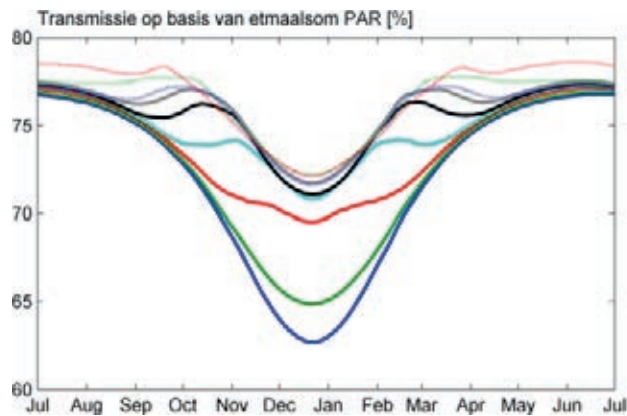


	okt-apr	Jan
0° dakhelling:	78.1	73.2
5° dakhelling:	78.5	73.8
10° dakhelling:	79.4	75.0
15° dakhelling:	80.4	76.3
20° dakhelling:	81.0	77.3
23° dakhelling:	81.2	77.6
25° dakhelling:	81.3	77.8
30° dakhelling:	81.4	78.0
40° dakhelling:	81.2	77.8

Met constructie

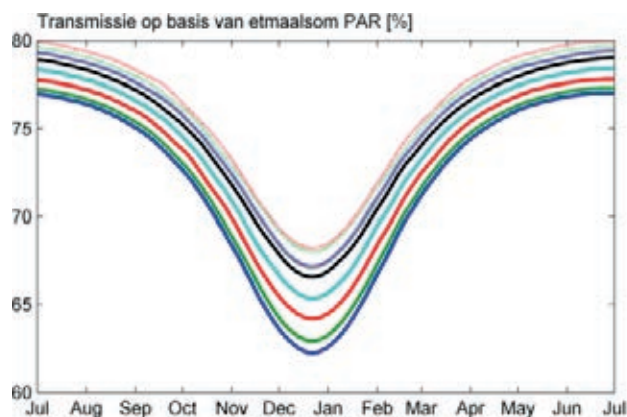
Helder

Oriëntatie = 0°



	okt-apr	Jan
0° dakhelling:	69.7	64.7
5° dakhelling:	70.4	66.3
10° dakhelling:	72.0	70.3
15° dakhelling:	73.7	72.5
20° dakhelling:	75.0	72.8
23° dakhelling:	75.7	73.2
25° dakhelling:	75.7	73.0
30° dakhelling:	76.0	73.3
40° dakhelling:	75.9	73.3

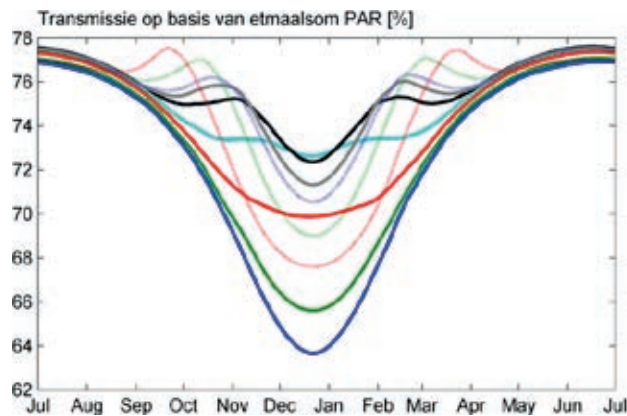
Oriëntatie = 90°



	okt-apr	Jan
0° dakhelling:	69.4	64.4
5° dakhelling:	69.9	65.0
10° dakhelling:	70.8	66.1
15° dakhelling:	71.7	67.3
20° dakhelling:	72.6	68.4
23° dakhelling:	73.2	69.0
25° dakhelling:	73.2	69.1
30° dakhelling:	73.7	69.8
40° dakhelling:	74.0	69.9

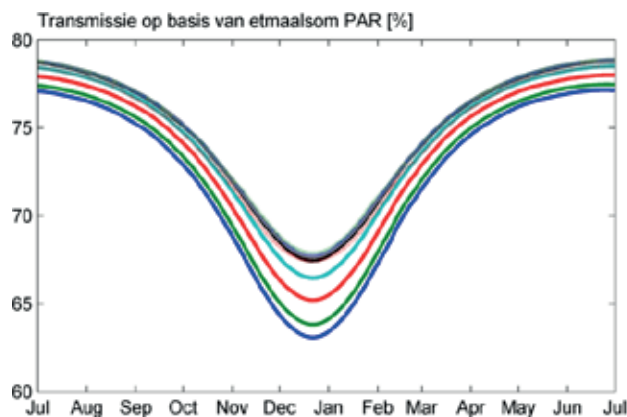
Diffuus

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling:	70.2	65.6
5° dakhelling:	70.9	67.0
10° dakhelling:	72.3	70.3
15° dakhelling:	73.8	73.2
20° dakhelling:	74.8	73.8
23° dakhelling:	75.0	73.2
25° dakhelling:	75.0	72.5
30° dakhelling:	74.9	70.9
40° dakhelling:	73.6	68.7

Oriëntatie = 90°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling:	69.9	65.1
5° dakhelling:	70.5	65.8
10° dakhelling:	71.4	67.0
15° dakhelling:	72.2	68.2
20° dakhelling:	72.8	69.0
23° dakhelling:	72.9	69.2
25° dakhelling:	72.9	69.3
30° dakhelling:	72.9	69.4
40° dakhelling:	72.4	68.8

Figuur 3.4 Effect van verschillende dakhellingen van een diffuus of helder dek met een Venlo dekvorm voor twee verschillende nokoriëntaties (0=Oost-West en 90=Noord-Zuid) op de lichttransmissie boven het gewas; berekeningen met en zonder constructiedelen.

Conclusie:

Wanneer de constructiedelen niet meegenomen worden in de berekeningen geldt dat voor zowel een helder als diffuus materiaal een grotere dakhelling de transmissie verhoogt, dus hoe groter de dakhelling hoe hoger de transmissie. Een diffuus materiaal zal met oplopende dakhelling echter wel altijd een lagere transmissie hebben dan een helder materiaal, ook bij gelijke transmissie van het materiaal.

Wanneer constructiedelen wel meegenomen worden blijkt voor helder glas een dakhelling rond 30° optimaal en voor een diffuus materiaal rond de 20°.

3.5 Effect van de nokoriëntatie

Zonlicht valt jaarrond gemiddeld gezien onder bepaalde hoeken in op een oppervlak op aarde. Wanneer dit oppervlak evenwijdig is aan het aardoppervlak heeft de horizontale oriëntatie geen invloed op deze invalshoeken. Bij een Venlo kasdek met een bepaalde dakhelling zijn deze invalshoeken echter afhankelijk van de nok oriëntatie.

Onderstaande figuren laten het effect zien van verschillende nokoriëntaties tussen 0 en 90° (Tabel 3.1) van een diffuus of helder dek met een Venlo dek, met de meest voorkomende dakhelling van 23°, op de lichttransmissie boven het gewas (Figuur 3.5). Berekeningen zijn met en zonder constructiedelen uitgevoerd.

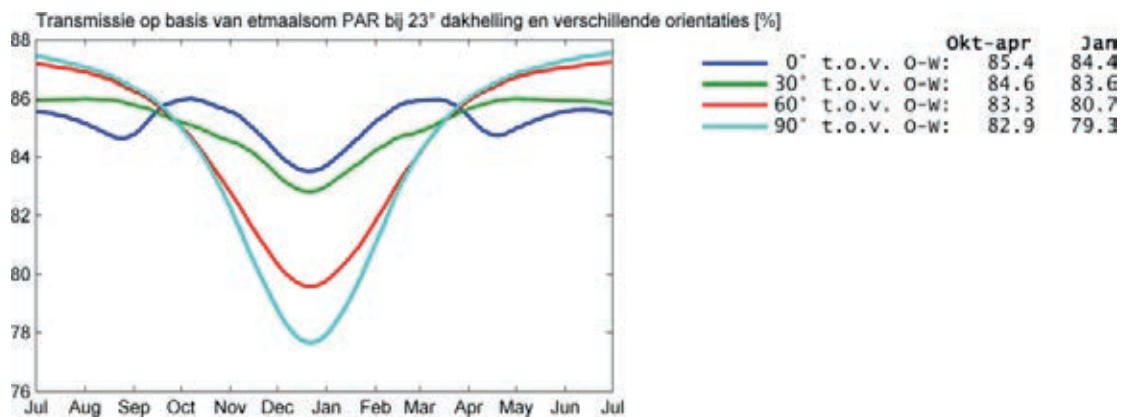
Tabel 3.1

Venlo-kas dek met verschillende oriëntaties.

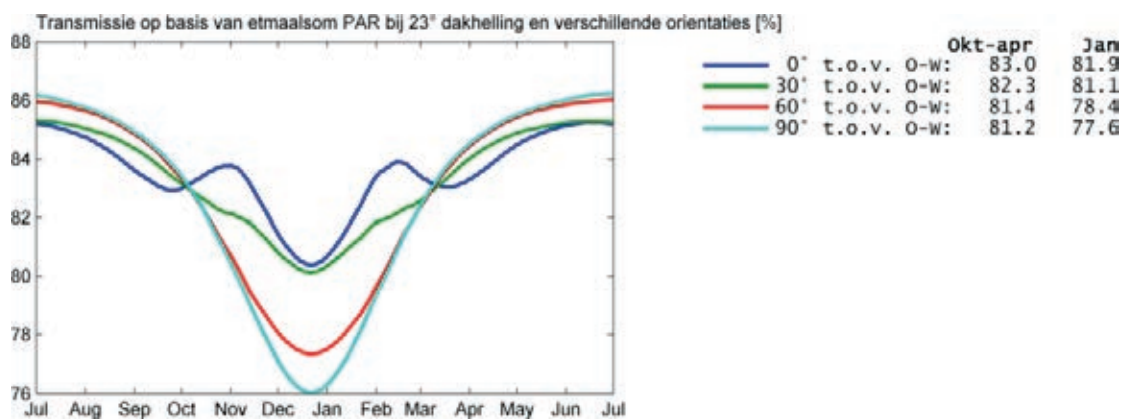
Oriëntatie	Nok
0°	Oost – West
90°	Noord – Zuid

Zonder constructie

Helder

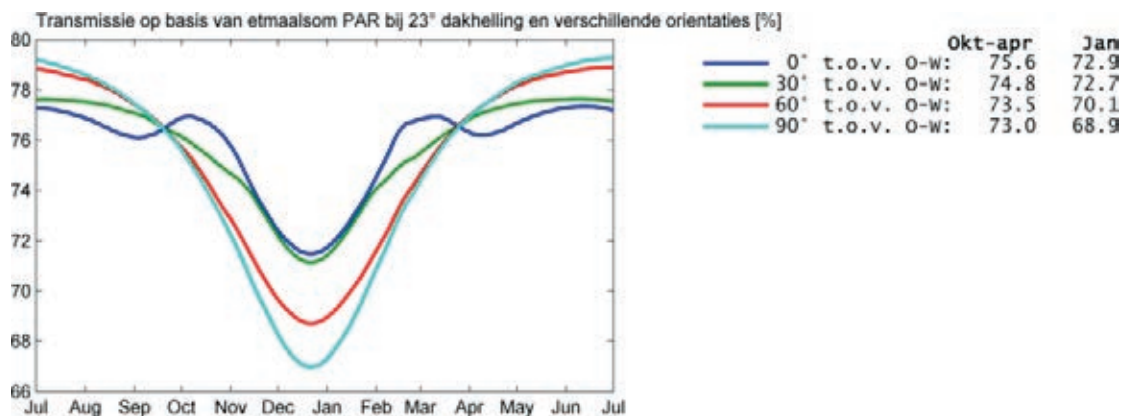


Diffuus

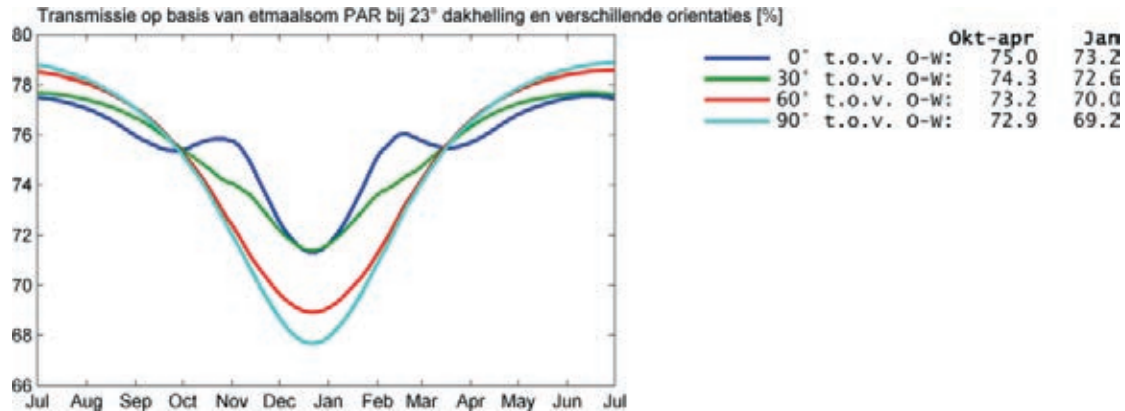


Met constructie

Helder



Diffuus



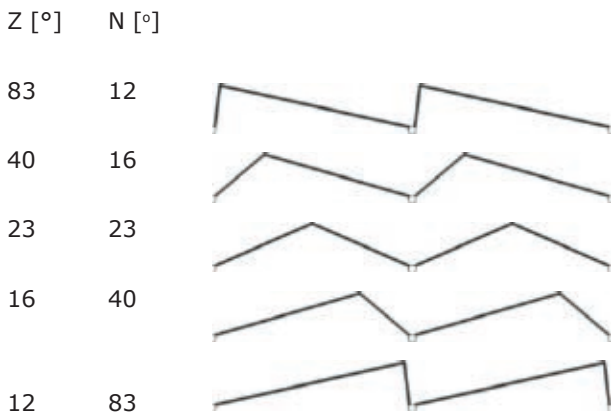
Figuur 3.5 Effect van verschillende nokoriëntaties (0-30-60-90°) van een diffuus of helder dek met een Venlo dekvorm met een 23° dakhelling op de lichttransmissie boven het gewas; berekeningen met en zonder constructiedelen.

Conclusie:

Voor alle gevallen geldt dat een Oost-West oriëntatie van de nok het meest gunstig is in de winter.

3.6 Effect van een asymmetrisch kasdek met gelijke nokhoogte

Uitgangspunt de onderstaande berekeningen met het asymmetrisch kasdek is een goot-nok hoogte van 0.85 m, behorende bij een Venlo dek met 23° dakhelling bij een kap van 4 meter breed. Bij gelijke nokhoogte is vervolgens de zuidelijke en noordelijke dakhelling veranderd (Figuur 3.6). In de onderstaande figuren is het effect te zien van een asymmetrisch kasdek op de lichttransmissie boven het gewas bij een helder of diffuus kasdek bij verschillende dakhellingen en twee verschillende oriëntaties (Figuur 3.7). Berekeningen zijn met en zonder constructiedelen uitgevoerd.

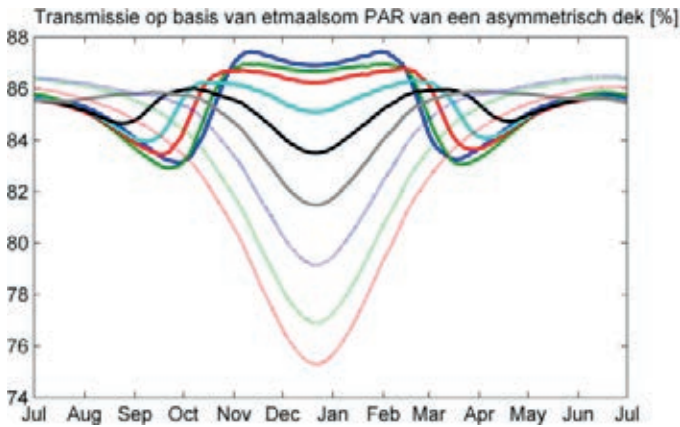


Figuur 3.6 Asymmetrisch kasdek met een nokhoogte van 0.85 m (behorende bij een Venlo 4 m kap bij 23° dakhelling) en verschillende zuidelijke en noordelijke dakhellingen.

Zonder constructie

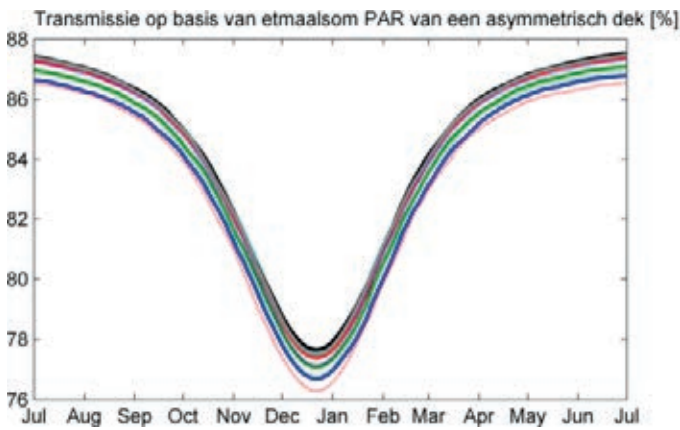
Helder

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
83°Z 12°N:	85.3	87.2
60°Z 14°N:	85.2	86.8
40°Z 16°N:	85.7	86.5
30°Z 19°N:	85.7	85.6
23°Z 23°N:	85.4	84.4
19°Z 30°N:	84.7	82.8
16°Z 40°N:	83.7	80.8
14°Z 60°N:	82.3	78.8
12°Z 83°N:	81.1	77.3

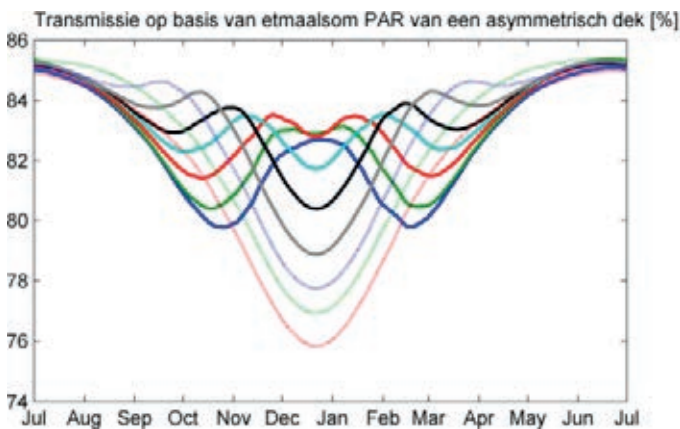
Oriëntatie = 90°



	Okt-apr	Jan
83°Z 12°N:	81.9	78.3
60°Z 14°N:	82.3	78.7
40°Z 16°N:	82.7	79.1
30°Z 19°N:	82.8	79.3
23°Z 23°N:	82.9	79.3
19°Z 30°N:	82.8	79.2
16°Z 40°N:	82.5	79.0
14°Z 60°N:	82.1	78.6
12°Z 83°N:	81.7	78.0

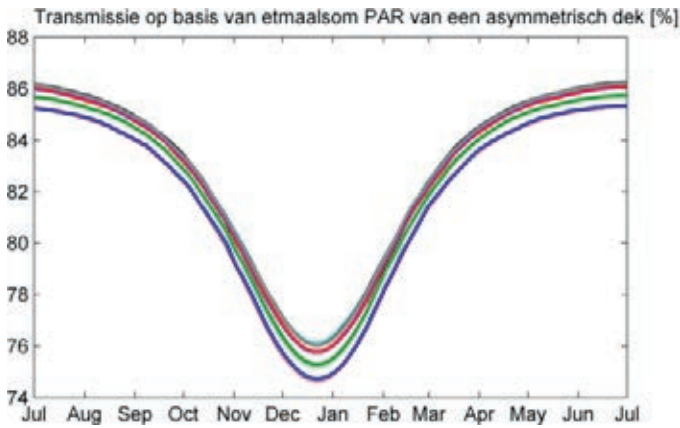
Diffuus

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
83°Z 12°N:	80.9	81.8
60°Z 14°N:	81.5	82.7
40°Z 16°N:	82.2	83.3
30°Z 19°N:	82.7	82.9
23°Z 23°N:	83.0	81.9
19°Z 30°N:	82.9	80.4
16°Z 40°N:	82.3	79.1
14°Z 60°N:	81.3	78.2
12°Z 83°N:	80.4	77.2

Oriëntatie = 90°

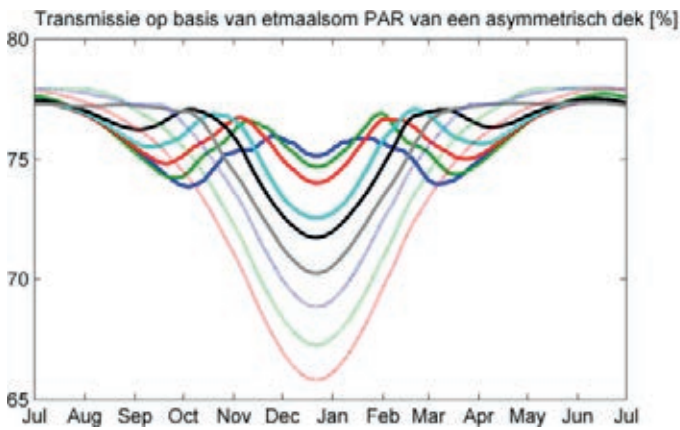


	Okt-apr	Jan
83°Z 12°N:	80.1	76.3
60°Z 14°N:	80.6	76.9
40°Z 16°N:	80.9	77.3
30°Z 19°N:	81.2	77.7
23°Z 23°N:	81.2	77.6
19°Z 30°N:	81.1	77.6
16°Z 40°N:	80.9	77.3
14°Z 60°N:	80.5	76.8
12°Z 83°N:	80.0	76.2

Met constructie

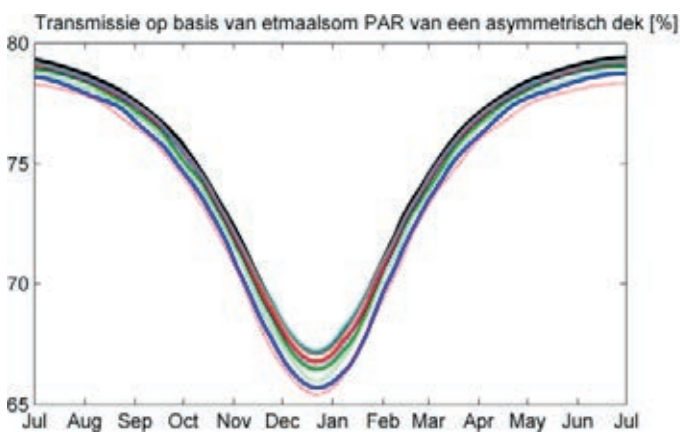
Helder

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
83°Z 12°N:	74.8	75.7
60°Z 14°N:	75.3	76.0
40°Z 16°N:	75.6	75.5
30°Z 19°N:	75.8	74.1
23°Z 23°N:	75.7	73.2
19°Z 30°N:	75.0	71.9
16°Z 40°N:	74.2	70.6
14°Z 60°N:	73.0	69.0
12°Z 83°N:	71.9	67.6

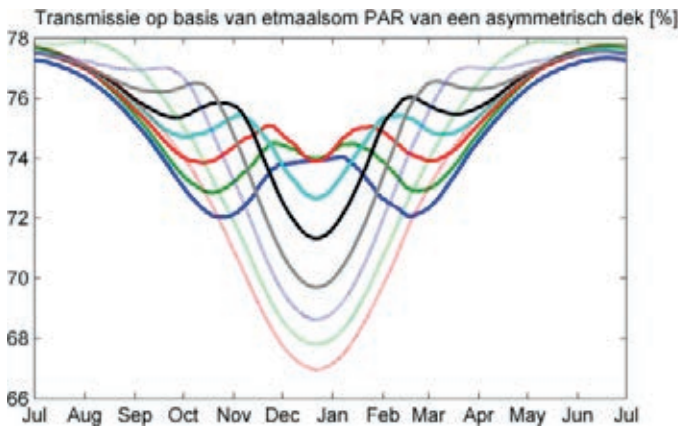
Oriëntatie = 90°



	Okt-apr	Jan
83°Z 12°N:	71.9	67.4
60°Z 14°N:	72.6	68.3
40°Z 16°N:	72.9	68.6
30°Z 19°N:	73.1	69.1
23°Z 23°N:	73.2	69.0
19°Z 30°N:	73.0	69.0
16°Z 40°N:	72.8	68.5
14°Z 60°N:	72.3	68.1
12°Z 83°N:	71.7	67.3

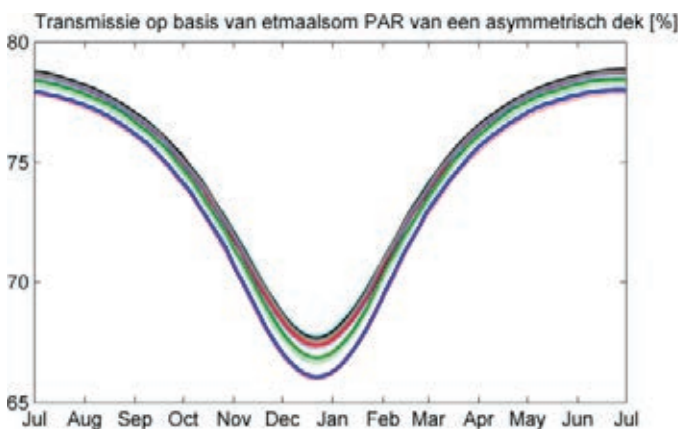
Diffuus

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
83°Z 12°N:	73.0	73.5
60°Z 14°N:	73.6	74.3
40°Z 16°N:	74.4	74.8
30°Z 19°N:	74.8	74.2
23°Z 23°N:	75.0	73.2
19°Z 30°N:	74.8	71.4
16°Z 40°N:	74.1	70.2
14°Z 60°N:	72.8	69.1
12°Z 83°N:	71.8	68.3

Oriëntatie = 90°



	Okt-apr	Jan
83°Z 12°N:	71.6	67.6
60°Z 14°N:	72.3	68.4
40°Z 16°N:	72.7	68.9
30°Z 19°N:	72.9	69.3
23°Z 23°N:	72.9	69.2
19°Z 30°N:	72.8	69.1
16°Z 40°N:	72.5	68.8
14°Z 60°N:	72.1	68.3
12°Z 83°N:	71.5	67.5

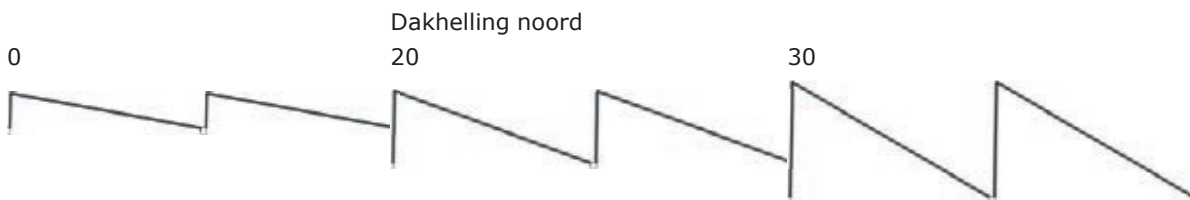
Figuur 3.7 Effect van een asymmetrisch kasdek op de lichttransmissie boven het gewas bij een helder of diffuus kasdek bij verschillende dakhellingen en twee verschillende oriëntaties; berekeningen met en zonder constructiedelen.

Conclusie:

Een asymmetrische dakhelling met gelijke nokhoogte laat een wisselend beeld zien. Belangrijkste conclusie is dat van de zaagtand tot 3% lichtwinst laat zien in de maand januari bij een helder glas bij een steile zuid en flauwe noord helling bij een oost-west oriëntatie.

3.7 Effect van een asymmetrisch zaagtand kasdek

Uitgangspunt de onderstaande berekeningen met het asymmetrisch zaagtand kasdek is een loodrechte dakhelling van het zuidelijke dak en een variabele dakhelling van het noordelijke dak, waardoor de nokhoogte varieert (Figuur 3.8). In de onderstaande figuren is het effect te zien van een asymmetrisch zaagtand kasdek op de lichttransmissie boven het gewas bij een helder of diffuus kasdek bij verschillende dakhellingen van het noordelijke dak en twee verschillende oriëntaties (Figuur 3.9). Berekeningen zijn met en zonder constructiedelen uitgevoerd.

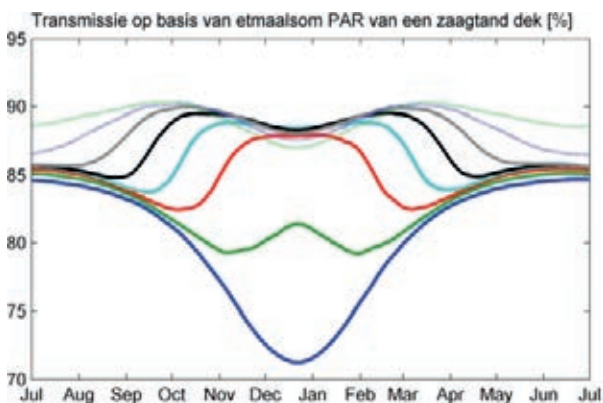


Figuur 3.8 Asymmetrisch zaagtand kasdek met een loodrechte zuidelijk dakhelling en een variabele dakhelling van het noordelijke dak.

Zonder constructie

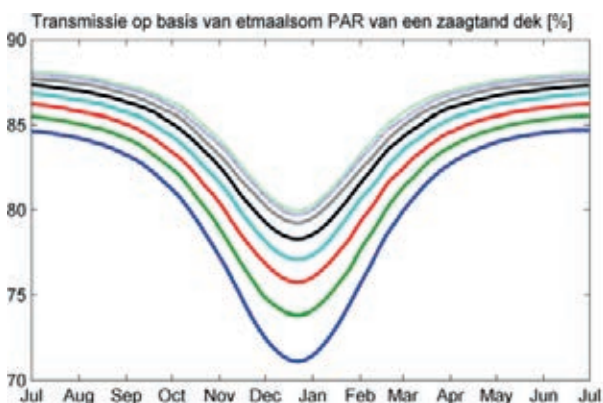
Helder

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling noord:	78.2	73.3
5° dakhelling noord:	80.8	79.9
10° dakhelling noord:	84.4	87.6
15° dakhelling noord:	87.1	88.7
20° dakhelling noord:	88.9	88.9
25° dakhelling noord:	89.4	88.7
30° dakhelling noord:	89.5	88.4
35° dakhelling noord:	89.4	87.9

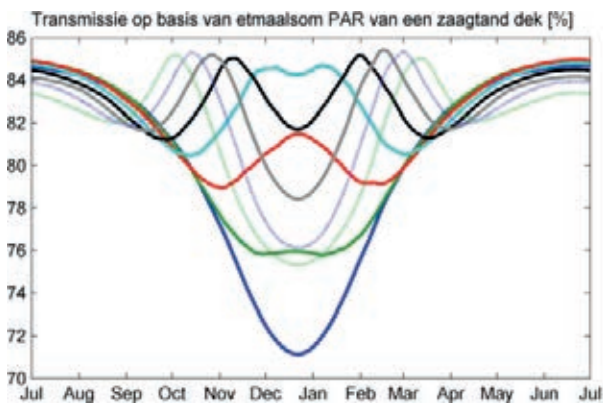
Oriëntatie = 90°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling noord:	78.2	73.3
5° dakhelling noord:	79.8	75.6
10° dakhelling noord:	81.1	77.4
15° dakhelling noord:	82.2	78.8
20° dakhelling noord:	83.1	79.9
25° dakhelling noord:	83.8	80.8
30° dakhelling noord:	84.3	81.4
35° dakhelling noord:	84.5	81.6

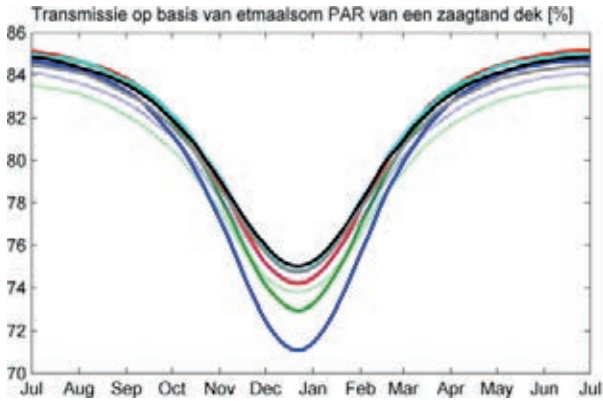
Diffuus

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling noord:	78.2	73.3
5° dakhelling noord:	79.0	76.1
10° dakhelling noord:	80.3	80.2
15° dakhelling noord:	81.9	84.1
20° dakhelling noord:	82.7	83.7
25° dakhelling noord:	82.8	80.9
30° dakhelling noord:	82.4	78.2
35° dakhelling noord:	81.7	76.7

Oriëntatie = 90°

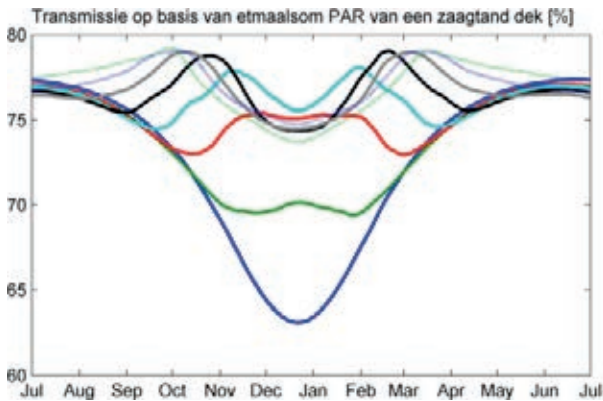


		Okt-apr	Jan
0° dakhelling	noord:	78.2	73.3
5° dakhelling	noord:	79.2	74.9
10° dakhelling	noord:	79.7	75.8
15° dakhelling	noord:	79.9	76.4
20° dakhelling	noord:	79.8	76.5
25° dakhelling	noord:	79.5	76.2
30° dakhelling	noord:	79.0	75.7
35° dakhelling	noord:	78.4	75.1

Met constructie

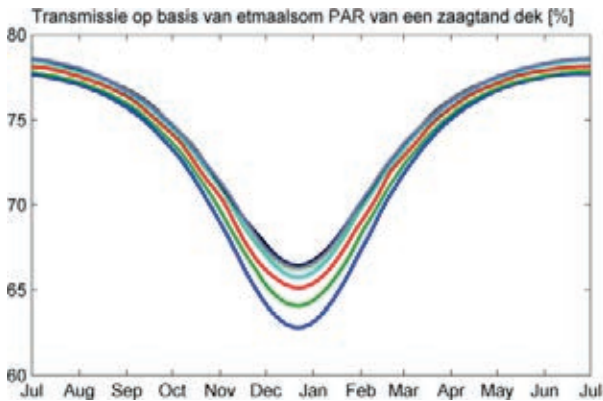
Helder

Oriëntatie = 0°



		Okt-apr	Jan
0° dakhelling	noord:	70.2	65.2
5° dakhelling	noord:	71.5	69.7
10° dakhelling	noord:	74.0	75.2
15° dakhelling	noord:	76.1	77.1
20° dakhelling	noord:	77.2	75.6
25° dakhelling	noord:	77.5	75.2
30° dakhelling	noord:	77.5	75.4
35° dakhelling	noord:	77.0	74.7

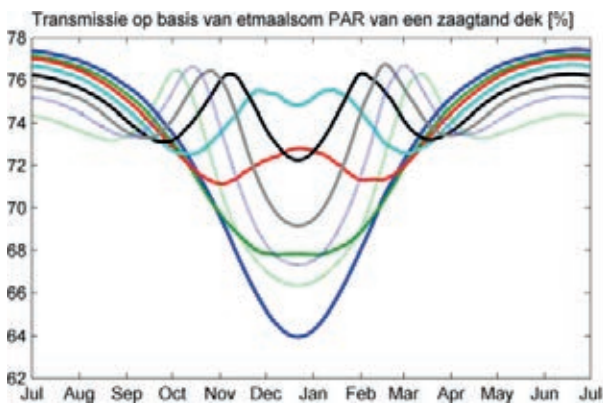
Oriëntatie = 90°



		Okt-apr	Jan
0° dakhelling	noord:	70.1	64.9
5° dakhelling	noord:	70.7	66.0
10° dakhelling	noord:	71.3	66.9
15° dakhelling	noord:	71.9	67.7
20° dakhelling	noord:	72.2	68.2
25° dakhelling	noord:	72.2	68.1
30° dakhelling	noord:	72.1	68.3
35° dakhelling	noord:	71.8	67.8

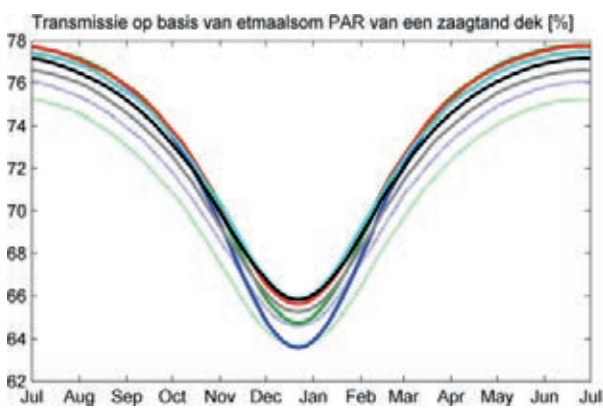
Diffuus

Oriëntatie = 0°



		Okt-apr	Jan
0° dakhelling	noord:	70.6	65.9
5° dakhelling	noord:	71.0	68.1
10° dakhelling	noord:	72.3	72.0
15° dakhelling	noord:	73.6	75.2
20° dakhelling	noord:	74.2	74.4
25° dakhelling	noord:	74.1	71.5
30° dakhelling	noord:	73.6	69.1
35° dakhelling	noord:	72.5	67.5

Oriëntatie = 90°



		Okt-apr	Jan
0° dakhelling	noord:	70.5	65.6
5° dakhelling	noord:	71.0	66.6
10° dakhelling	noord:	71.2	67.2
15° dakhelling	noord:	71.2	67.4
20° dakhelling	noord:	70.9	67.2
25° dakhelling	noord:	70.2	66.6
30° dakhelling	noord:	69.5	66.0
35° dakhelling	noord:	68.5	64.9

Figuur 3.9 Effect van een asymmetrisch zaagtand kasdek op de lichttransmissie boven het gewas bij een helder of diffuus kasdek bij verschillende dakhellingen van het noordelijke dak en twee verschillende oriëntaties; berekeningen met en zonder constructiedelen.

Conclusie:

Een zaagtand dekvorm met de schuinde zijde aan de noordkant van 15 á 20° van het dek levert in de winterperiode 5% theoretische lichtwinst bij een diffuus kasdek materiaal. De kasconstructie halveert de lichtwinst bij een helder materiaal grofweg.

3.8 Effect van een tunnelkas met holle of bolle dekvorm

In onderstaande figuren is het effect te zien van een tunnelkas met een holle of bolle kasdekvorm op de lichttransmissie boven het gewas bij een helder of diffuus kasdek bij verschillende krommingen van het dek (Figuur 3.10) en twee verschillende oriëntaties (Figuur 3.11). Berekeningen zijn zonder constructiedelen uitgevoerd. Bolvorm is positief en holvorm is negatief in de legenda van de figuren opgenomen.

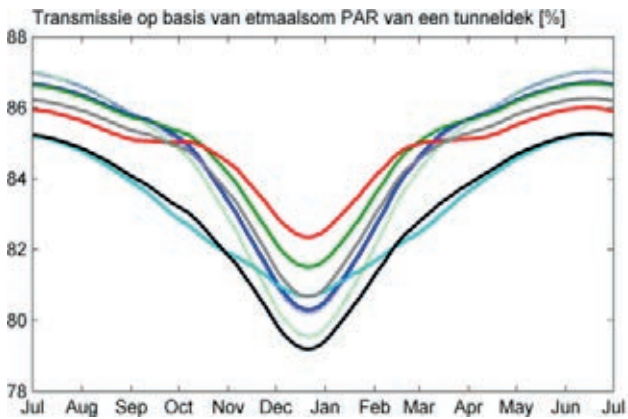


Figuur 3.10 Tunnelkas bol (a) en hol (b).

Zonder constructie

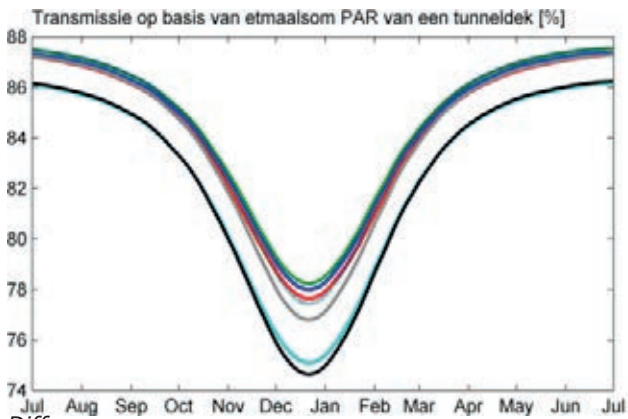
Helder

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
-100% bolvorm:	83.8	81.5
-75% bolvorm:	84.3	82.5
-50% bolvorm:	84.4	83.2
-25% bolvorm:	82.2	81.2
25% bolvorm:	82.1	80.3
50% bolvorm:	83.8	81.9
75% bolvorm:	83.7	81.4
100% bolvorm:	83.3	80.8

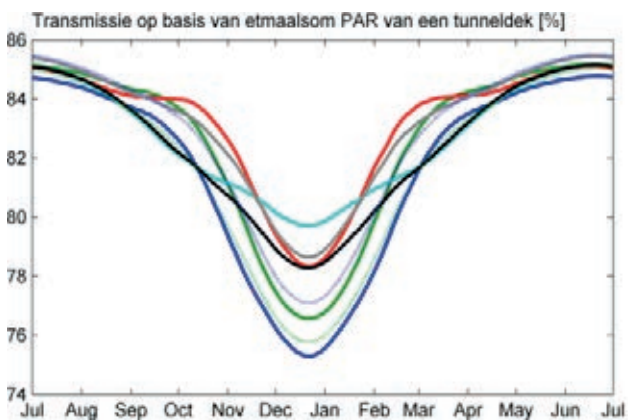
Oriëntatie = 90°



	Okt-apr	Jan
-100% bolvorm:	82.9	79.6
-75% bolvorm:	83.2	79.8
-50% bolvorm:	82.7	79.3
-25% bolvorm:	80.9	76.9
25% bolvorm:	80.8	76.6
50% bolvorm:	82.4	78.7
75% bolvorm:	82.9	79.3
100% bolvorm:	82.8	79.2

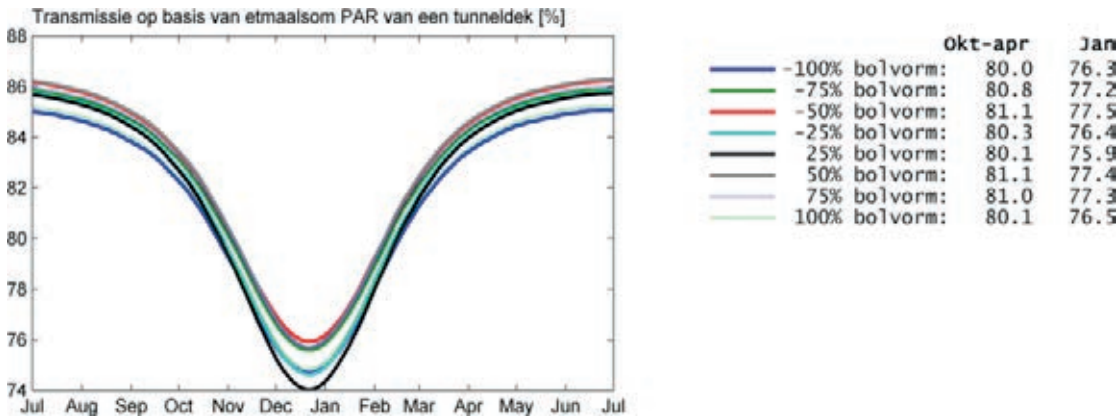
Diffuus

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
-100% bolvorm:	80.3	76.7
-75% bolvorm:	81.6	78.1
-50% bolvorm:	82.6	80.0
-25% bolvorm:	81.5	80.4
25% bolvorm:	81.1	79.3
50% bolvorm:	82.3	80.0
75% bolvorm:	81.6	78.5
100% bolvorm:	80.4	77.1

Oriëntatie = 90°



Figuur 3.11 Effect van een tunnelkas met een holle of bolle kasdekvorm op de lichttransmissie boven het gewas bij een helder of diffuus kasdek bij verschillende krommingen van het dek, zie Figuur 3.10 en twee verschillende oriëntaties; berekeningen zonder constructiedelen.

Conclusie:

Op basis van de berekeningen zonder constructiedelen kan geconcludeerd worden dat een tunnelkas, zowel bol als hol, geen lichtwinst oplevert. Een verklaring hiervoor is dat bij de bolle tunnel de dakhelling afneemt vanaf de goot naar de nok. In de winter wordt vooral het gedeelte nabij de nok beschonen (goot ligt vaak in de schaduw), dus het gedeelte met de laagste dakhelling. Bij een holle tunnel is dit andersom maar moet het licht nabij de nok vaak 2 keer door het materiaal om in de kas terecht te komen.

3.9 Effect van de hoekafhankelijke transmissie van het kasdekmateriaal

3.9.1 Inleiding

Anti-reflectie coatings hebben de eigenschap dat zij de reflectie van het materiaal verminderen waardoor de transmissie hoger is dan van niet gecoate materialen. Het effect van een AR-coating is tweeledig:

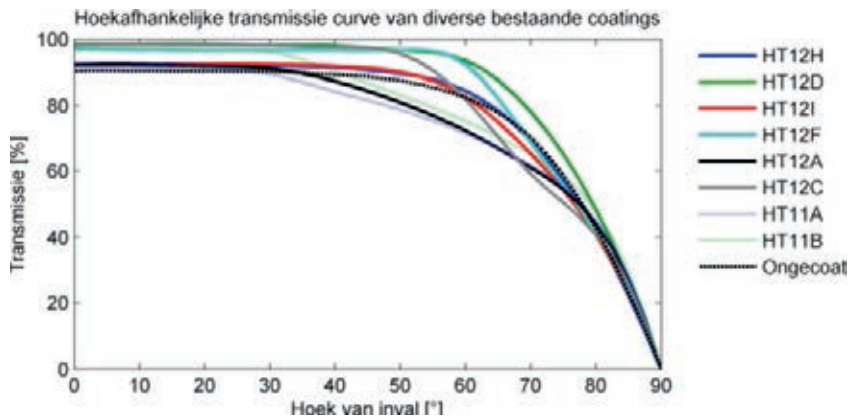
1. Een algehele verhoging van de transmissie in absolute termen (hoekafhankelijk, hemisferisch).
2. Een verandering van de hoekafhankelijke transmissiecurve.

Bij praktijkcoatings zal een combinatie van 1 en 2 optreden.

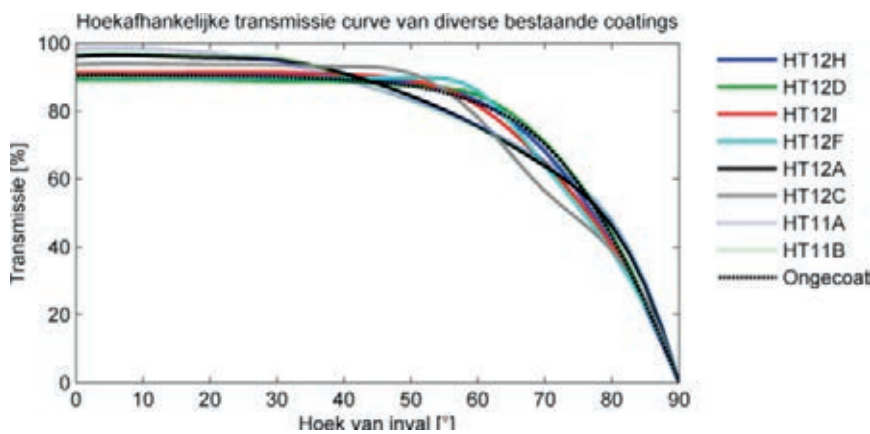
In de onderstaande paragrafen zijn de effecten van bestaande en niet bestaande (virtuele) coatings onderzocht. Bij de bestaande coatings is naast het algehele effect ook het effect van alleen het verschil van de hoekafhankelijke transmissiecurve met die van het referentiemateriaal onderzocht door de hemisferische transmissie gelijk te houden (normaliseren). Bij de virtuele coatings is alleen gekeken naar het effect van de hoekafhankelijke curve en (dezelfde hemisferische transmissie als de referentie).

3.9.2 Bestaande coatings

Voor een aantal bestaande coatings die bij Wageningen UR doorgemeten zijn, zijn simulaties uitgevoerd voor een kasdek zonder constructiedelen en met een helder materiaal. Hierbij is gekeken naar het algehele effect en naar alleen het hoekafhankelijke effect waarbij de curve genormaliseerd is naar de hemisferische transmissie van het referentiemateriaal. Hierdoor zijn de absolute transmissies van alle materialen gelijk zodat zuiver het effect van de hoekafhankelijkheid berekend wordt. In Figuur 3.12 is de voor onderzochte coatings de hoekafhankelijke transmissie weergegeven zoals deze is gemeten en in Figuur 3.13 is voor de onderzochte coatings de hoekafhankelijke transmissie weergegeven nadat deze genormaliseerd is om voor alle coatings op een gelijke hemisferische transmissie te komen.



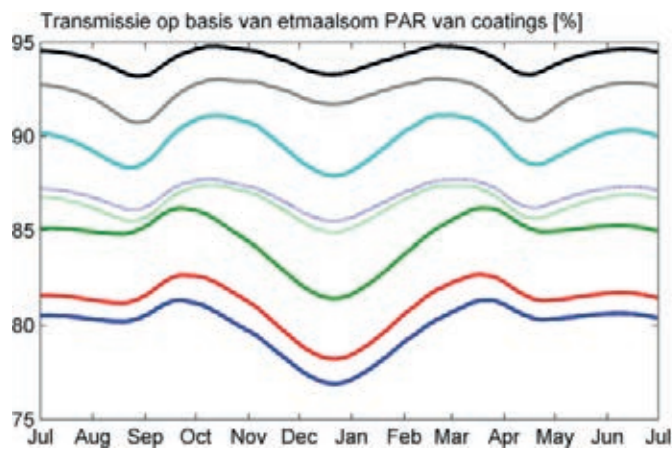
Figuur 3.12 Hoekafhankelijke transmissie van een aantal bestaande coatings met verschillende hemisferische transmissie, gemeten op de meetapparatuur van Wageningen UR.



Figuur 3.13 Hoekafhankelijke transmissie van een aantal bestaande coatings met genormaliseerde hemisferische transmissie.

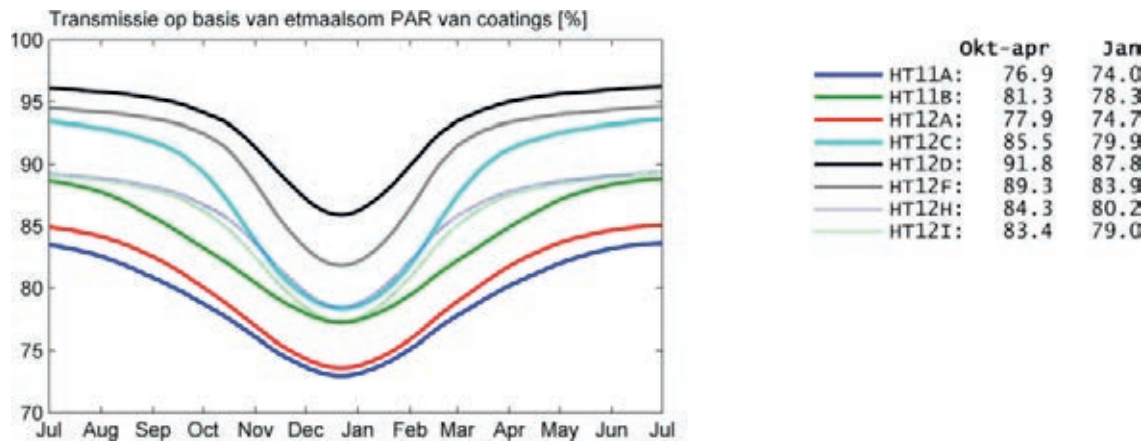
In onderstaande figuren zijn de resultaten van zowel de echte (gemeten) transmissie als met de referentietransmissie (gelijk aan referentiemateriaal) weergegeven.

Oriëntatie = 0°



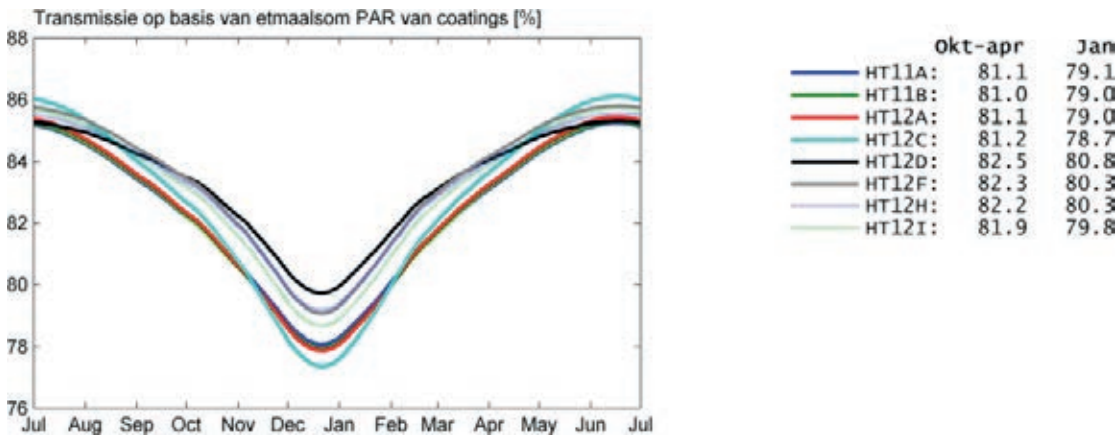
	Okt-apr	Jan
HT11A:	79.9	78.0
HT11B:	84.7	82.6
HT12A:	81.4	79.4
HT12C:	90.3	89.1
HT12D:	94.4	93.9
HT12F:	92.6	92.3
HT12H:	87.2	86.3
HT12I:	86.8	85.9

Oriëntatie = 90°

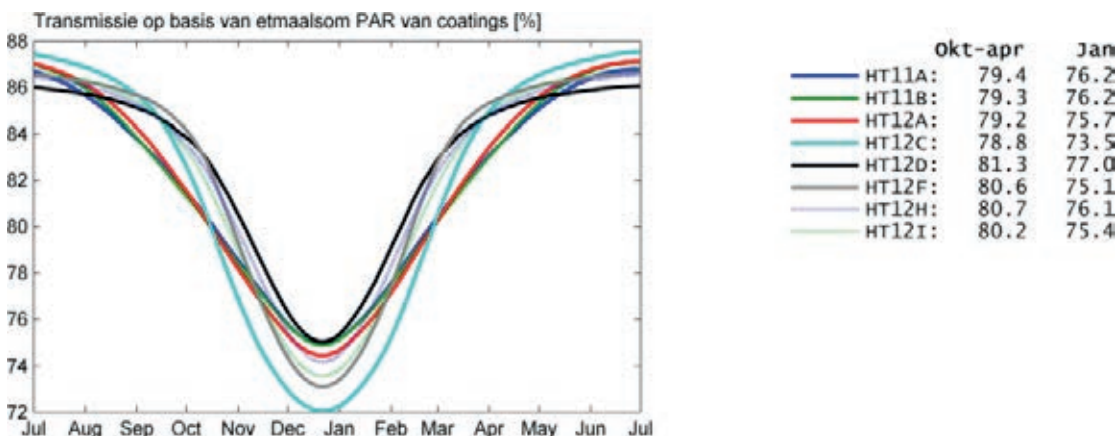


Figuur 3.14 Effect van diverse bestaande coatings met een afwijkende hoekafhankelijke transmissie op de lichttransmissie bij een standaard 23° Venlo-kas dek. De berekeningen zijn gedaan met de échte gemeten hoekafhankelijke transmissie van gecoat glas.

Oriëntatie = 90°



Oriëntatie = 90°



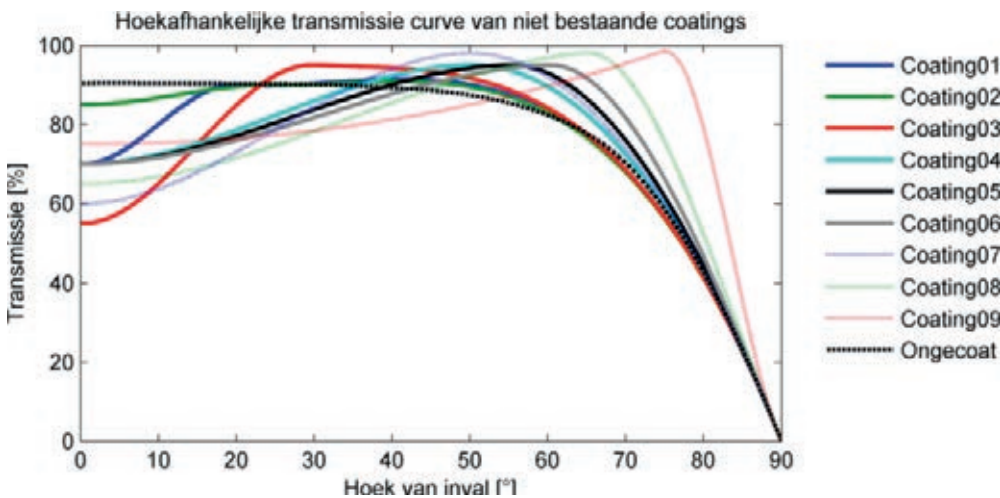
Figuur 3.15 Effect van diverse bestaande coatings met een afwijkende hoekafhankelijke transmissie op de lichttransmissie bij een standaard 23° Venlo-kas dek. De berekeningen zijn gedaan met een genormaliseerde transmissie, d.w.z. de gemeten hoekafhankelijke transmissie van het gecoate glas is zodanig geschaald dat de hemisferische transmissie gelijk is aan de hemisferische transmissie van het referentiemateriaal. Op deze manier is alleen het effect van een andere hoekafhankelijke transmissiecurve inzichtelijk gemaakt.

Conclusie:

Wanneer met de echte lichttransmissie gerekend wordt is de lichtwinst groot (tot 9%). Wanneer alleen naar de hoekafhankelijke transmissie gekeken wordt en de hemisferische transmissie genormaliseerd is, is er lichtverlies in plaats van lichtwinst. Dit betekent dat de bestaande coatings hun lichtwinst alleen te danken hebben aan de anti-reflectie werking, dus een hogere lichttransmissie.

3.9.3 Virtuele coatings

Door de eigenschappen van AR-coatings slim te kiezen kan een hoekafhankelijke transmissie gecreëerd worden met hoge transmissie bij bepaalde voorkeursoeken. Met een random methode zijn een aantal mogelijk hoekafhankelijke curves gegenereerd waarbij de hemisferische transmissie nagenoeg gelijk is aan die van het referentiemateriaal (Figuur 3.16).

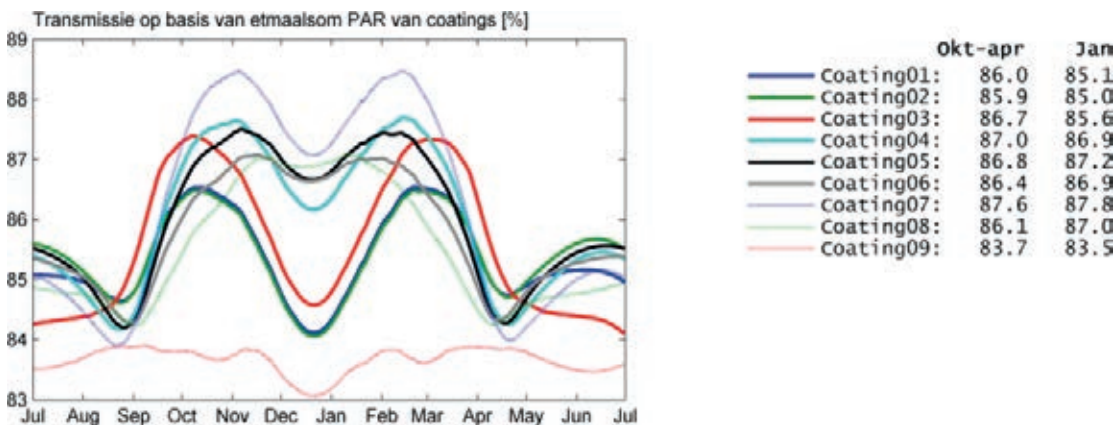


Figuur 3.16 Hoekafhankelijke transmissie van een aantal virtuele coatings met dezelfde hemisferische transmissie van 82.8%.

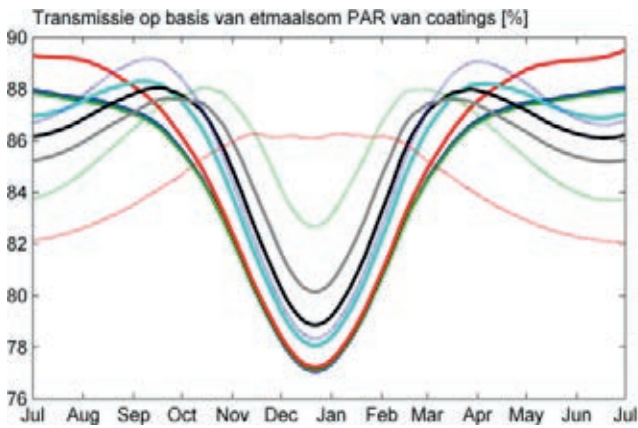
In onderstaande figuren zijn de resultaten weergegeven van de virtuele coatings in combinatie met een helder en diffuus materiaal.

Helder

Oriëntatie = 0°



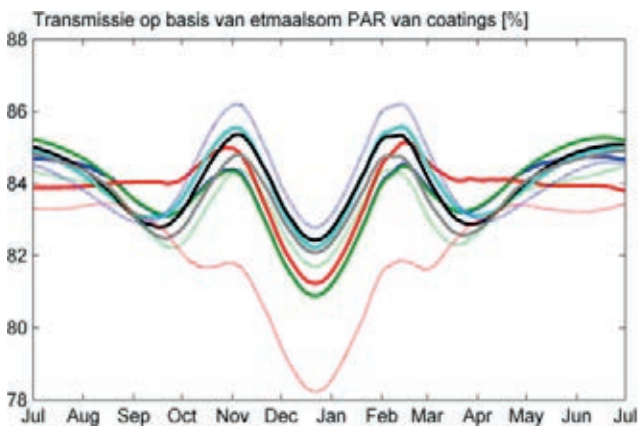
Oriëntatie = 90°



	Okt-apr	Jan
Coating01:	83.0	78.8
Coating02:	83.0	78.8
Coating03:	83.4	79.0
Coating04:	84.6	80.0
Coating05:	85.3	81.0
Coating06:	85.8	82.4
Coating07:	85.3	80.4
Coating08:	86.9	84.8
Coating09:	85.4	86.2

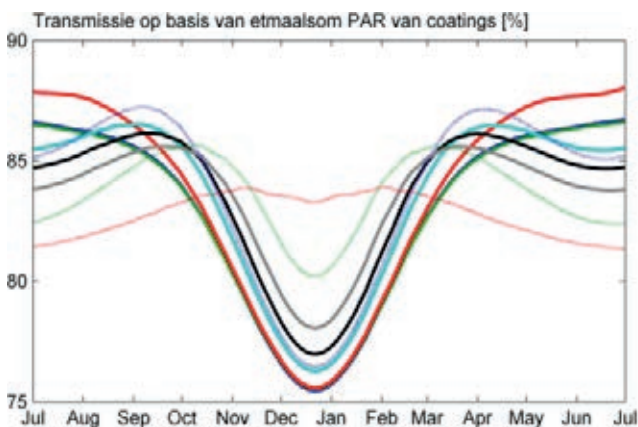
Diffuus

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
Coating01:	83.4	82.5
Coating02:	83.4	82.5
Coating03:	84.1	82.9
Coating04:	84.2	83.9
Coating05:	84.0	83.9
Coating06:	83.5	83.5
Coating07:	84.6	84.5
Coating08:	83.1	83.1
Coating09:	81.4	79.9

Oriëntatie = 90°



	Okt-apr	Jan
Coating01:	81.3	77.1
Coating02:	81.3	77.2
Coating03:	81.6	77.3
Coating04:	82.7	78.2
Coating05:	83.2	79.0
Coating06:	83.6	80.1
Coating07:	83.2	78.4
Coating08:	84.5	82.2
Coating09:	83.5	83.7

Figuur 3.17 Effect van diverse fictieve coatings met een sterk afwijkende hoekafhankelijke transmissie op de lichttransmissie bij een standaard 23° Venlo-kas dek. De hemisferische transmissie van de coatings is gelijk aan die van het referentiemateriaal.

Conclusie:

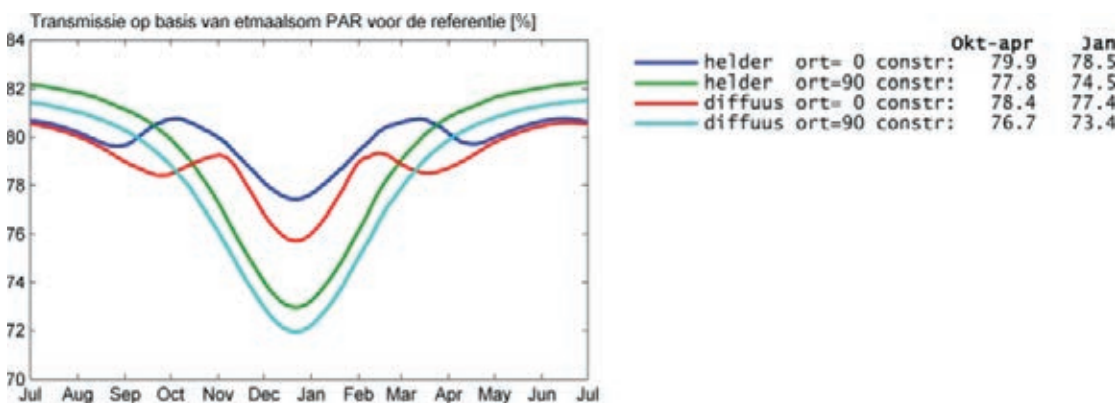
Door de hoekafhankelijke transmissie van een coating slim te kiezen kan een lichtwinst van 3 tot 7% gehaald worden. Hierbij is geen rekening gehouden of een dergelijke coating ook daadwerkelijk te produceren is.

3.10 Effect van de optische eigenschappen van de constructiematerialen

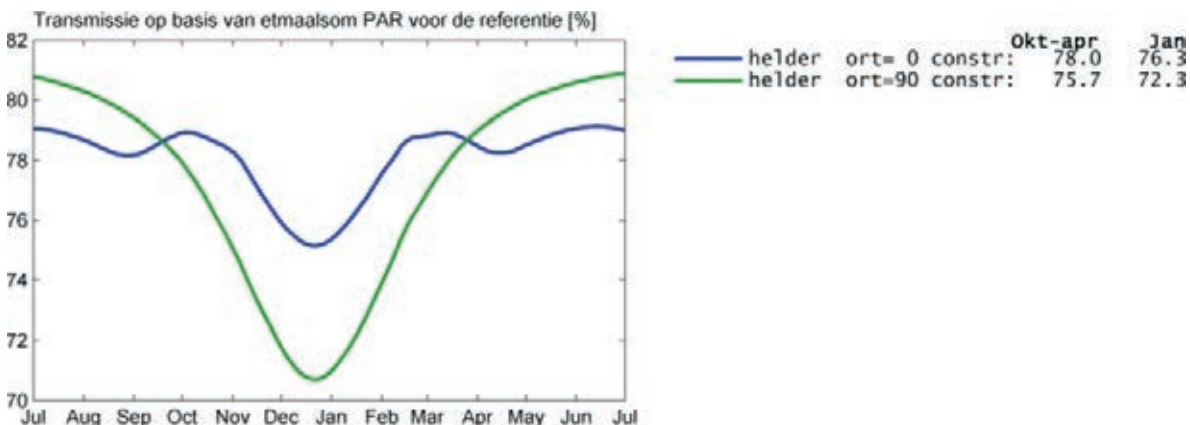
Aangezien in de berekeningen in hoofdstuk 3.3 t/m 3.7 duidelijke verschillen tussen berekeningen met en zonder constructiedelen gevonden werden, worden nu de optische eigenschappen van de constructiedelen veranderd. Er wordt in plaats van ongecoat aluminium constructiedelen gerekend met een spiegellende constructie en een poedercoating, beide 99% reflecterend. Dit wordt gedaan voor de referentiekas en voor de asymmetrische kas met een zaagtand dek omdat vooral bij de laatste opvallende verschillen in de berekeningen met en zonder constructie werden waargenomen.

3.10.1 Referentiekas

Onderstaande figuren geven het resultaat weer van de referentiekas met een gepoedercoate en spiegellende constructie. Het blijkt dat hiermee een lichtwinst van 4 – 5% gehaald kan worden.



Figuur 3.18 Effect van spiegellende constructiedelen op de lichttransmissie in de kas boven het gewas in een standaard 23° Venlo-kas met helder of diffuus glas bij twee verschillende nokoriëntaties.



Figuur3.19 Effect van gepoedercoate constructiedelen op de lichttransmissie in de kas boven het gewas in een standaard 23° Venlo-kas met helder of diffuus glas bij twee verschillende nokoriëntaties.

Conclusie:

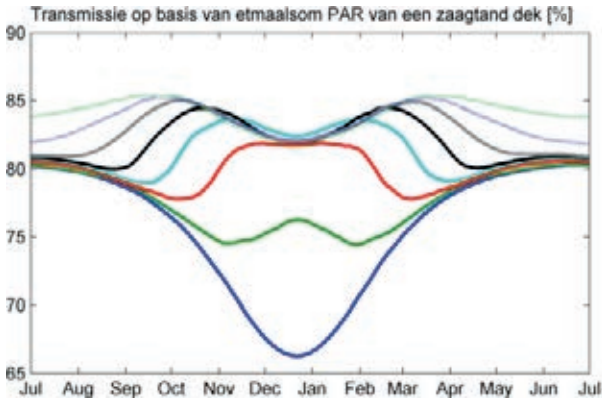
Door de constructiedelen van de referentiekas te poedercoaten of spiegelen is de lichtwinst respectievelijk 2% en 4%.

3.11 Asymmetrische kas met een zaagtand kasdek

Uit de berekeningen met het zaagtand kasdek bleek de constructie een beperkende factor op de potentiële lichtwinst. In onderstaande figuren zijn de resultaten voor een zaagtand i.c.m. spiegelende constructie weergegeven.

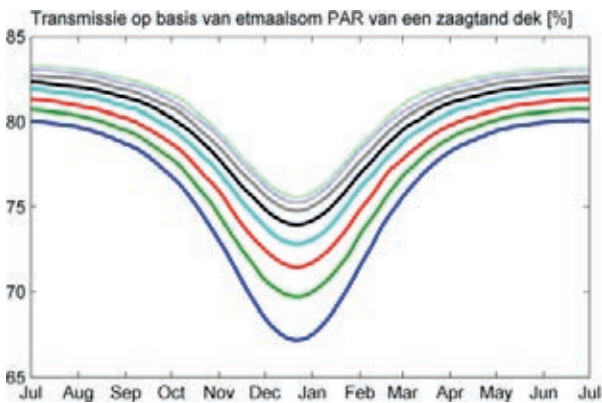
Helder

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling noord	73.3	68.4
5° dakhelling noord	76.0	75.1
10° dakhelling noord	79.4	81.8
15° dakhelling noord	82.0	83.2
20° dakhelling noord	83.5	82.9
25° dakhelling noord	84.1	82.7
30° dakhelling noord	84.2	82.8
35° dakhelling noord	84.2	82.5

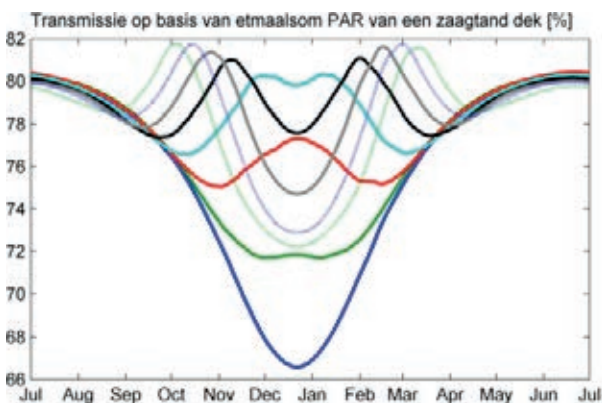
Oriëntatie = 90°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling noord	73.9	69.2
5° dakhelling noord	75.4	71.4
10° dakhelling noord	76.6	73.0
15° dakhelling noord	77.6	74.4
20° dakhelling noord	78.4	75.4
25° dakhelling noord	79.0	76.2
30° dakhelling noord	79.5	76.8
35° dakhelling noord	79.9	77.1

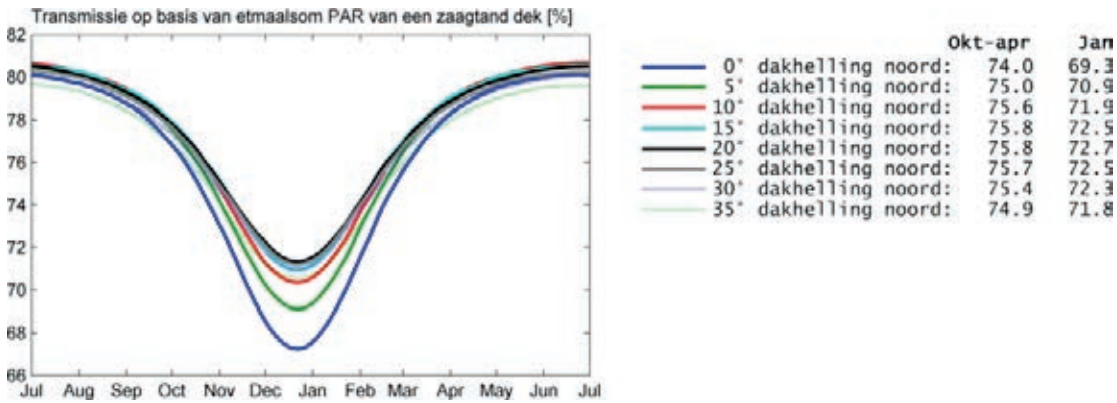
Diffuus

Oriëntatie = 0°



	Okt-apr	Jan
0° dakhelling noord	73.5	68.6
5° dakhelling noord	74.7	72.0
10° dakhelling noord	76.2	76.3
15° dakhelling noord	77.8	79.9
20° dakhelling noord	78.8	79.6
25° dakhelling noord	79.0	77.0
30° dakhelling noord	78.9	74.8
35° dakhelling noord	78.3	73.5

Oriëntatie = 90°



Figuur 3.20 Effect van spiegelende constructiedelen op de lichttransmissie in de kas boven het gewas in een asymmetrische kas met zaagtand dek met een helder of diffuus glas bij twee nokoriëntaties.

Conclusie:

Een zaagtand kasdek i.c.m. een spiegelende constructie geeft voor een helder materiaal een lichtwinst van 8 tot 10% in de winterperiode. Bij een diffuus materiaal zijn de winsten enkele procenten lager.

3.12 Effect van condensatie tegen het kasdek

In onderstaande figuren is het effect te zien van condensatie tegen het kasdek. Er is voor een enkeldeks kas ingeschat op welke moment een nat dek verwacht kan worden. Dit is uiteraard afhankelijk van buitencondities, klimaatsetpoints en gewastype. Op basis van eerder metingen van Stanghellini *et al.* (2010) en additionele indicatieve metingen van de hoekafhankelijke lichttransmissie van natte en droge materialen op de Transvision zijn de Tabel 3.2 weergegeven aannames gedaan van de lichttransmissie van een helder en diffuus kasdek materiaal in droge en natte toestand. Een helder kasdek materiaal zonder coating laat vaak een ongunstige condensvorm zien waardoor de lichttransmissie afneemt. Het hier aangenomen diffuus kasdek materiaal laat een gunstige condensvorm zien met een aangenomen toename in lichttransmissie.

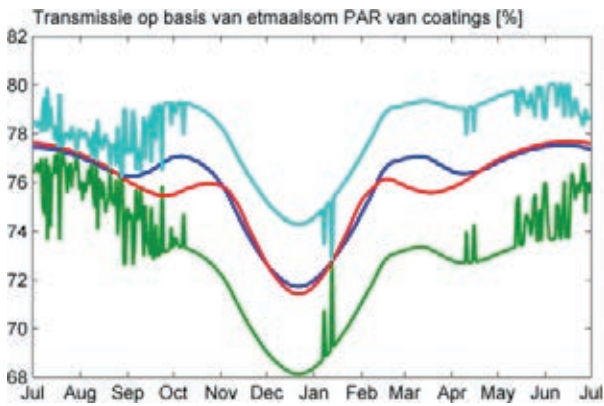
Tabel 3.2

Overzicht aannames lichttransmissie van droge en natte kasdek materialen voor helder en diffuus glas.

Oriëntatie	Droog	Nat
Referentie	Helder 83% hemisferisch	Helder -4% transmissie onder alle hoeken -4% hemisferisch
Diffuus	Diffuus 83% hemisferisch	Helder +4% hemisferisch hoekafhankelijke transmissie is vanaf ca. 40° hoger dan droog

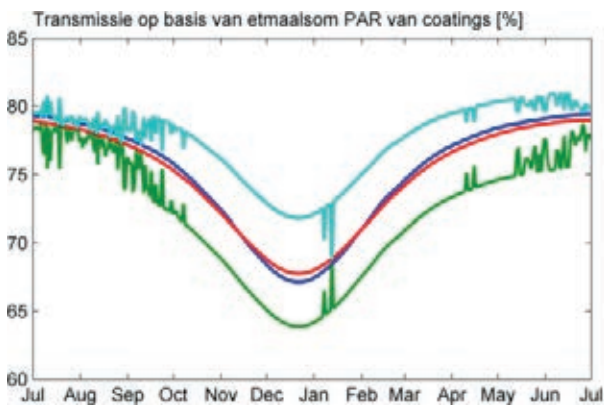
Met constructie

Oriëntatie = 0°



		Okt-apr	Jan
floatglass	droog	75.7	73.2
floatglass	condens	72.1	69.7
diffuseglass	droog	75.1	73.3
diffuseglass	condens	78.1	75.6

Oriëntatie = 90°



		Okt-apr	Jan
floatglass	droog	73.2	69.0
floatglass	condens	69.6	65.8
diffuseglass	droog	73.0	69.3
diffuseglass	condens	76.6	73.2

Figuur 3.21 Effect van condensatie tegen een droog en een nat helder en diffuus kasdek; berekeningen zijn gedaan met de aannames in.

Conclusie:

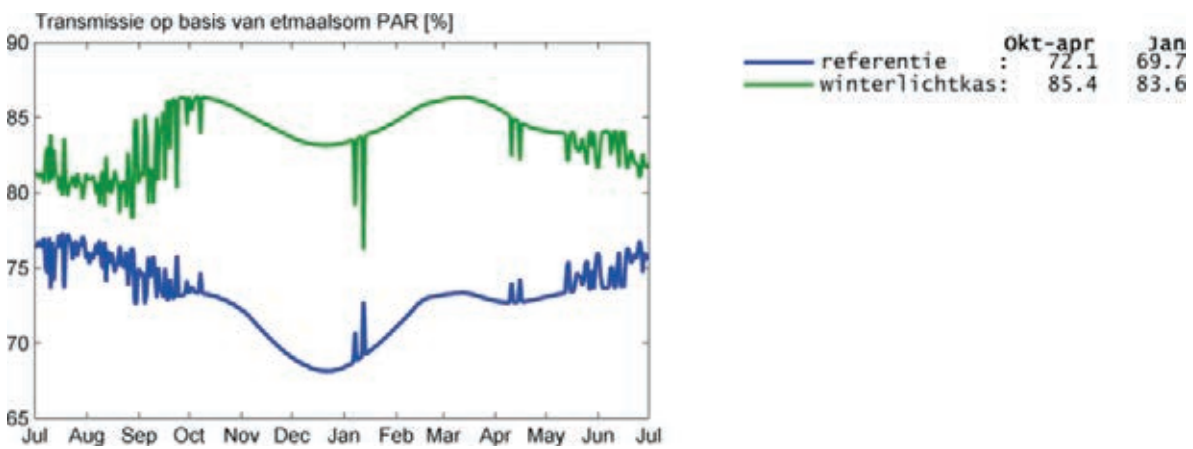
Onder reële omstandigheden waarbij het kasdek voor een groot deel van de winter aan de onderkant nat is blijkt dat diffuus glas 6 tot 7% meer licht realiseert dan het referentiemateriaal.

3.13 Winterlichtkas

Door de inzichten uit bovenstaande paragrafen te combineren kan een kasdek ontworpen worden dat optimaal is voor de winterperiode. Dit is een zaagtand met 25° dakhelling aan de noordzijde, met spiegelende constructie en diffuus glas. Deze constructie is in figuur 3.22 getekend.



Figuur 3.22 Winterlichtkas met zaagtand dek, spiegelende constructie en diffuus glas.



Figuur 3.23 Effect van gepoedercoate constructiedelen op de lichttransmissie in de kas boven het gewas in een standaard 23° Venlo-kas met helder of diffuus glas bij twee verschillende nokoriëntaties.

Conclusie:

De winterlichtkas met een zaagtand met 25° dakhelling aan de noordzijde, met spiegelende constructie en diffuus glas zorgt voor een lichtsom toename van ruim 13 tot 14% ten opzichte van de referentiekas.

4 Resultaten condensmetingen

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van condensmetingen, zowel in het laboratorium als in de kasproef in afdeling 8.05 van Wageningen UR glastuinbouw in Bleiswijk beschreven.

4.1 Glaseigenschappen

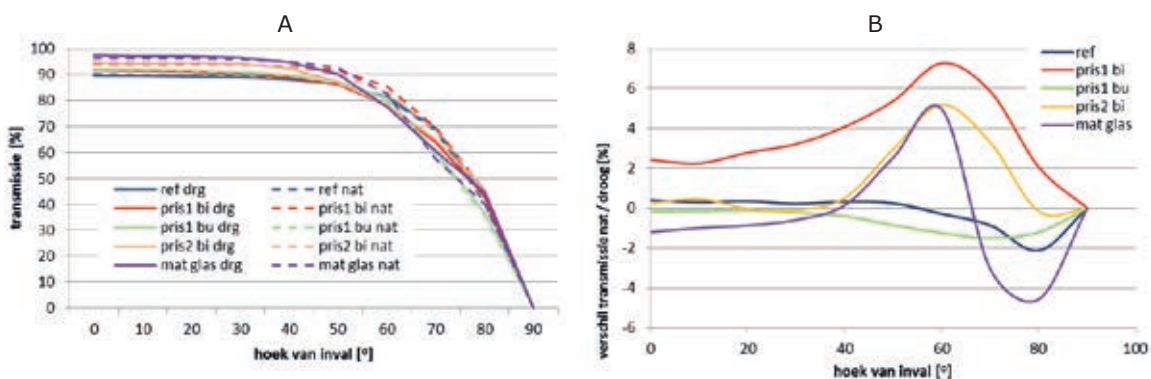
De set van 10 ruiten bestaat uit 5 verschillende waarvan de benaming, montage en hemisferische transmissie (droog en nat) eigenschappen in tabel 4.1 zijn weergegeven. De hemisferische transmissie is in het light-lab in Wageningen bepaald. Hoewel er geen vast omschreven meetprotocol van een natte meting is, zijn ruiten aan de kant zoals deze in de kas ook zal condenseren met behulp van een plantenspuit bevochtigd. De metingen geven een indicatie of er een toename dan wel afname in transmissie te verwachten is in de kasopstelling bij werkelijke condensatie. De te verwachten resultaten voor de praktijkmeting variëren dus van geen invloed van condens, het blanke referentie glas tot een toename van ruim 4% van de transmissie bij het piramide glas 1 met de structuur naar binnen.

Van deze 5 sets van 2 ruiten is één continue drooggeblazen zodat één meting zonder condensatie plaatsvindt en één meting met condensatie. Het verschil tussen de droge en natte meting is een maat voor het lichtverlies (of winst) ten gevolge van condensatie op het glas. In de kasopstelling is geen absolute transmissie van het glas bepaald. In figuur 4.1A is van deze glazen beschreven in tabel 4.1 de hoekafhankelijke transmissie getoond. Figuur 4.1B laat het verschil tussen nat en droog zien, hoek afhankelijk.

Tabel 4.1

Benaming, omschrijving van het glas, montage en hemisferische transmissie (droog en nat) van 5 glassoorten.

afkorting	Omschrijving	Positie in de kas	hemisferische transmissie [%]	
ref	Blank glas geen coatings	1	droog	81.9
		10	nat	81.8
pris1 bi	Piramideglas 1 structuur binnen +AR coating aan beide kanten	2	droog	81.5
		6	nat	86.0
pris1 bu	Piramideglas 1 structuur buiten +AR coating aan beide kanten	3	droog	81.7
		7	nat	81.0
pris2 bi	Piramideglas 2 structuur binnen +AR coating aan beide kanten	4	droog	83.6
		8	nat	85.3
mat glas	Geëtsd glas +AR etsing aan beide kanten	5	droog	84.7
		9	nat	85.1



Figuur 4.1 Hoekafhankelijke transmissie van de 5 soorten glas droog en nat gemeten in het Light Lab van Wageningen UR glastuinbouw (A) en het verschil tussen nat en droog volgens de laboratorium metingen (B).

4.2 Condensgedrag

Er is geen meetmethodiek gebruikt om het condensgedrag te meten. Gedurende het project is het condensgedrag visueel beschreven waarbij het blanke referentieglass als uitgangspunt is genomen. In figuur 4.2A is het condensgedrag van de referentieruit en in figuur 4.2B het prismatic glas van leverancier 2 met de structuur naar binnen, weergegeven.

A blank referentieglass



B prismatic glas leverancier 2 structuur naar binnen



Figuur 4.2 Weergave van condensgedrag van 2 verschillende glassoorten.

Het blanke referentie glas kent veel grote grove druppels. Het prismatic glas van leverancier 1 met de structuur naar de kaskant gericht laat nog steeds druppels zien maar beduidend minder en kleiner dan op het referentie glas. Wordt deze ruit omgekeerd zodat de structuur naar buiten komt dan zijn er vrijwel geen druppels meer te zien. De ruit is echter wel nat zodat hoofdzakelijk van een waterfilm gesproken kan worden. Het prismatic glas van leverancier 2 waarvan alleen de structuur naar de kaskant toe is getest laat een duidelijk fijnere druppelstructuur zien dan het prismatic glas van leverancier 1. Het mat glas laat maar enkele druppels zien en het condens bestaat vooral uit een waterfilm. Deze omschrijvingen zijn in tabel 4.2 nog eens samengevat.

4.3 Transmissie effect

Het meten bleek niet eenvoudig te zijn, waarbij het droog houden van de ruit een uitdaging was. Door de manier van meten kan er dan ook alleen relatief iets over het condens effect tussen de droge en natte ruit van 1 glastype maar niet absoluuts over de verschillen tussen de ruiten gezegd worden.

Om het transmissie-effect te berekenen is alle data van de periode 31 januari t/m 5 mei waarbij geen bekende verstoringen zijn opgetreden gebruikt om de relatieve transmissie tussen droge en nat te bepalen. Het regen effect, waarbij de ruit aan de buitenkant nat is, is hierbij uitgefilterd door een "opdroogperiode" van 2½ uur aan te houden in de meetdata. De vorm van het condens en het in de praktijk en onder laboratorium omstandigheden gemeten condenseffect op de transmissie zijn in tabel 4.2 weergegeven. De in de tabel gegeven condenseffect uit het laboratorium is het verschil tussen de droge en natte meting in tabel 4.2.

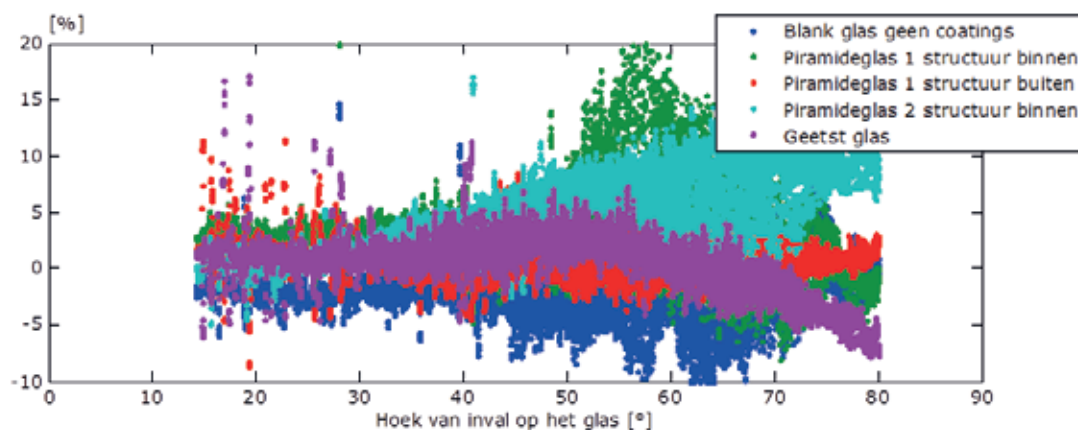
Tabel 4.2

Omschrijving van de geteste ruiten en de vorm van het condens en het in de praktijk en onder laboratorium omstandigheden gemeten condens effect op de transmissie.

Omschrijving ruit	Omschrijving condens	Condens effect (%)	
		Prakt.	Lab.
Blank glas geen coatings	Veel grote druppels (fig 4.2A)	-1.5	-0.4
Piramideglas 1 structuur binnen	Minder druppels en kleiner	+2.4	+4.5
Piramideglas 1 structuur buiten	Vrijwel geen druppels zichtbaar ruit is wel nat	+1.2	-0.7
Piramideglas 2 structuur binnen	Fijnere druppel dan piramideglas 1 (fig 4.2B)	+4.0	+1.7
Geëts glas	Enkele druppels vooral water film	+1.4	+0.4

De resultaten laten een enigszins consistent beeld zien en de absolute afwijking is maximaal zo'n 2%. De meetnauwkeurigheid van de droge laboratorium metingen zijn ± 0.5 % waarbij voor de natte meting geen meetnauwkeurigheid kan worden afgegeven maar deze is zeker groter dan ± 0.5 %. Voor de PAR sensoren wordt een nauwkeurigheid van 1% opgegeven.

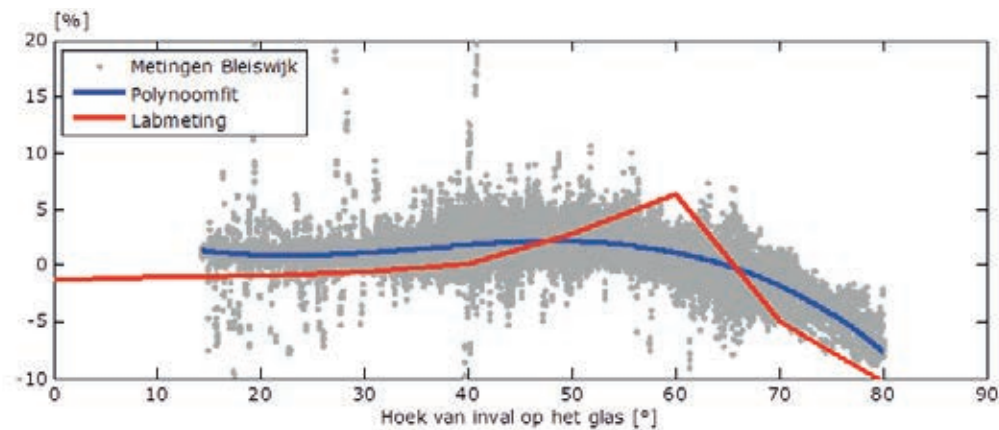
Voor het winterlicht zijn vooral de hoeken van grote inval (loodrecht wordt als 0° hoek van inval verondersteld), het gebied tussen de 60 en 90° in figuur 4.1. Om dit effect in beeld te brengen is van een selectie uit de data gemaakt waarbij er meer dan $30 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ aan PAR straling op de sensor moet vallen (ca. 15 W globale straling), de hoek van inval op het glas kleiner dan 80° is ten opzichte van loodrecht, het niet regent of al ten minste 2.5 uur droog is en de fractie van diffuus licht maximaal 40% van de globale straling bepaald. De resultaten voor de 5 glas typen zijn in figuur 4.3 getoond.



Figuur 4.3 Verschil tussen de natte en droge meting afhankelijk van de hoek van inval van het directe zonlicht.

De figuur laat een grote spreiding in de metingen (16500 waarnemingen) zien van 5 tot 10% afhankelijk van de hoek van inval. Ook bij aanpassing van de selectie blijft de spreiding groot en kunnen vaak alleen de grote afwijkingen ($<10\%$) worden geëlimineerd maar gezien het grote aantal waarnemingen zijn deze waarnemingen van beperkte invloed op de resultaten. De betekenis hiervan is dat het op deze manier meten (te) grote onnauwkeurigheid kent. Daarnaast is duidelijk te zien (zie ook Bijlage I) dat de spreiding bij de piramide ruiten met de structuur naar binnen duidelijk groter is dan van het vlakke glas.

Voor het geëts glas is in figuur 4.4 het lab meetresultaat en een fit (poly) door de puntenwolk getrokken. De trend is vergelijkbaar maar kent momentaan toch forse afwijkingen.



Figuur 4.4 Verschil tussen nat en droog voor de geëtste ruit afhankelijk van de hoek van inval van het directe licht.

In bijlage I zijn de figuren van de andere glastypen te vinden.

Ook bleek de spreiding van de metingen erg groot te zijn wat een indicatie is voor meetfouten en 's morgens werden regelmatig andere effecten dan 's avonds gemeten, met vergelijkbare licht omstandigheden. De metingen zijn dan ook niet goed reproduceerbaar, maar de oorzaak hiervan is onduidelijk wat het moeilijk maakt om de resultaten te duiden en tot conclusies te komen. De metingen hebben de onnauwkeurigheid in acht nemende tot de volgende conclusies geleid:

- Het standaard tuinbouwglas heeft nat een lagere transmissie dan droog.
- Alle onderzochte diffuse glas heeft in de praktijkmeting nat een hogere transmissie dan droog.
- Het verschil (gemiddeld) tussen de "praktijk metingen" en metingen in het laboratorium zijn beperkt en variëren rond de meetnauwkeurigheid.
- De grote spreiding (welke bij piramide glas groter is dan bij het vlakke glas) bij de "praktijk meting" geeft aan dat metingen ergens door worden beïnvloed, de metingen zijn niet goed reproduceerbaar, maar de oorzaak hiervan is onduidelijk.
- Er zijn duidelijke verschillen tussen de glassoorten en de grote en de oorzaak van deze verschillen zijn onduidelijk.
- Om tot een betere kwantificering te komen is er behoefte aan een gestandaardiseerde methode om transmissie effecten van condens te kunnen meten.

5 Conclusies

In dit rapport zijn erg veel combinaties doorgerekend. In onderstaande tabel 5.1 zijn de belangrijkste resultaten nog eens samengevat. Positieve resultaten ten opzichte van de referentie zijn groen weergegeven.

Tabel 5.1

Relatieve PAR som onder diverse kasdekken boven het gewas gedurende de wintermaanden oktober t/m april en januari ten opzichte van inkomende PAR som.

	Periode	Helder		Diffuus	
		O-W	N-Z	O-W	N-Z
Geen constructie					
Referentie	Okt-Apr	85	83	83	81
	Januari	84	79	82	78
Dakhelling	Okt-Apr	86 (+1) >30°	85 (+2) >30°	83	81
	Januari	85 (+1)	82 (+3)	82	78
Asymmetrisch dek	Okt-Apr	86 (+1)	83	83	81
	Januari	87 (+3)	79	82	78
Zaagtand	Okt-Apr	90 (+5) ca. 25°	85 (+2) ca. 35°	83	80
	Januari	89 (+5) ca. 20°	82 (+3) ca. 35°	84 (+1) ca. 15°	77
Tunnel	Okt-Apr	84	83	83	81
	Januari	83	80	80	77
Bestaande coating	Okt-Apr	94 (+9)	92 (+9)		
(echte transmissie)	Januari	94 (+10)	88 (+9)		
Bestaande coating	Okt-Apr	83	81		
(transmissie = referentie)	Januari	81	77		
Virtuele coating	Okt-Apr	88 (+3)	87 (+4)	85 (+2)	85 (+4)
(transmissie = referentie)	Januari	88 (+4)	86 (+7)	85 (+3)	84 (+6)

	Periode	Helder		Diffuus	
		O-W	N-Z	O-W	N-Z
Met constructie					
Referentie	Okt-Apr	76	73	75	73
	Januari	73	69	73	69
Dakhelling	Okt-Apr	76	74 (+1) ca. 25°	75	73 (25°)
	Januari	73	70 (+1) >30°	74 (+1) ca. 25°	69 (30°)
Asymmetrisch dek	Okt-Apr	76	73	75	73
	Januari	76 (+3)	69	75 (+2)	69
Zaagtand	Okt-Apr	78 (+2)	72	74	71 (15°)
	Januari	77 (+4)	68	75 (+2)	67 (15°)
Referentie	Okt-Apr	80 (+4)	78 (+5)	78 (+3)	77 (+4)
99% spiegellende constructie	Januari	79 (+6)	75 (+6)	77 (+4)	73 (+4)
Referentie	Okt-Apr	78 (+2)	76 (+3)		
Poedergecoate constructie	Januari	76 (+3)	72 (+3)		
Zaagtand h-refl.	Okt-Apr	84 (+8)	80 (+7)	79 (+4)	76 (+3)
	Januari	83 (+10)	77 (+8)	80 (+7)	73 (+4)
Inclusief condensatie	Okt-Apr			(+6)	(+7)
	Januari			(+6)	(+7)
Winterlicht kas	Okt-Apr			+13%	
(zaagtand, incl. condens)	Januari			+14%	

In bovenstaande tabel zijn de meest gunstige berekeningsresultaten van de diverse onderzochte elementen weergegeven. Samenvattend kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Door optimaal ontwerp constructiedelen in dak is max. 10% meer licht (verschil met en zonder constructie) te winnen in de wintermaanden in een Nederlandse kas; nadere verkenning wenselijk, viel niet in de scope van dit project.
- Door een andere dakhelling is 1-3% meer licht te winnen bij een helder dek en is geen winst te halen bij een diffuus dek t.o.v. een standaard 23° Venlo-kas dek.
- Door een asymmetrisch dak met dezelfde nokhoogte en twee schuine dakvlakken kan geen lichtwinst worden geboekt.
- Door een asymmetrisch dak in zaagtandvorm kunnen 2-4% lichtwinst worden geboekt bij een Oost-West nokoriëntatie; interessant is hier dat de lichtwinst door deze dakvorm aanzienlijk hoger is zonder constructiedelen dan met constructiedelen.
- Spiegelende constructiedelen leveren 3-6% lichtwinst op, speciaal bij een asymmetrische kas met zaagtand (3-10%); optimalisatie van de optische eigenschappen van huidige constructiematerialen lijkt interessant; nader onderzoek wenselijk.
- Eén van de doorgerekende bestaande AR coatings op glas verhoogt de lichttransmissie met 9%.
- De doorgerekende bestaande AR coatings leveren geen lichtwinst op als alleen naar de hoekafhankelijke transmissiecurve gekeken worden en de transmissie gelijk wordt gesteld aan de referentie (genormaliseerd).
- Nieuwe coatings die de hoekafhankelijke transmissie verhogen kunnen tot een additionele lichtwinst van 3-7% leiden; er moet worden uitgezocht wat praktisch haalbaar is, aangezien de berekeningen zijn gedaan met fictieve coatings.
- Alle effecten van de diverse berekeningselementen zijn minder onder een diffuus kasdek dan onder een helder kasdek.

- Een combinatie van de effecten van de diverse berekeningselementen levert een lichtwinst op van 13 – 14% indien de volgende elementen gecombineerd worden in een “Winterlichtkas”.
 - Zaagtand met 25° dakhelling aan de noordzijde.
 - Spiegelende constructiedelen.
 - Diffuus glas.
- Wanneer hier een AR coating aan toegevoegd wordt kan de transmissie nog met naar schatting max 8% worden verhoogd.

Condensatie

Een grote spreiding (welke bij structuur glas groter is dan bij het vlakke glas) bij de ‘kasexperiment metingen’ geeft aan dat de lichtmetingen ergens door worden beïnvloed. De metingen zijn niet goed reproduceerbaar, maar de oorzaak hiervan is onduidelijk wat het moeilijk maakt om de resultaten te duiden en tot conclusies te komen. De metingen hebben de onnauwkeurigheid in acht nemende tot de volgende conclusies geleid:

- Het standaard tuinbouwglas heeft nat een lagere transmissie dan droog.
- Alle onderzochte diffuse glas heeft in de praktijkmeting nat een hogere transmissie dan droog.
- Het verschil (gemiddeld) tussen de ‘praktijk metingen’ en metingen in het laboratorium zijn beperkt en variëren rond de meetnauwkeurigheid.
- De grote spreiding (welke bij piramide glas groter is dan bij het vlakke glas) bij de ‘praktijk meting’ geeft aan dat metingen ergens door worden beïnvloed, de metingen zijn niet goed reproduceerbaar, maar de oorzaak hiervan is onduidelijk.
- Er zijn duidelijke verschillen tussen de glassoorten en de grote en de oorzaak van deze verschillen zijn onduidelijk.
- Om tot een betere kwantificering te komen is er behoefte aan een gestandaardiseerde methode om transmissie effecten van condens te kunnen meten.

6 Literatuur

Dueck, T., Jan Janse, Frank Kempkes, Tao Li, Anne Elings & Silke Hemming, 2012.

Diffuus licht bij tomaat. Rapport GTB-1158, Wageningen UR Glastuinbouw.

Hemming, S., Dries Waaijenberg, Gerard Bot, Tom Dueck, Chris van Dijk, Anja Dieleman, Ernst van Rijssel, Bert Houter, Piet Sonneveld, Feije de Zwart en Nollie Marissen.

Optimale lichtomstandigheden bij de transitie naar een energiezuinige kastuinbouw, 2004. Report nr. 100, Agrotechnology and Food Innovations B.V.

Hemming, S., Frank Kempkes, Vida Mohamadkhani, Cecilia Stanghellini en Henk-jan Holterman, 2006.

Anti-reflectie-coating voor tuinbouwglas: eerste praktijkervaringen. Rapport 130, Wageningen UR Glastuinbouw.

Janssen, E.G.O.N., H. Oversloot, W.D. van der Wiel, L. Zonneveldt., 2006.

Optimaal kasdek TNO-rapport 2004-BC-R0060

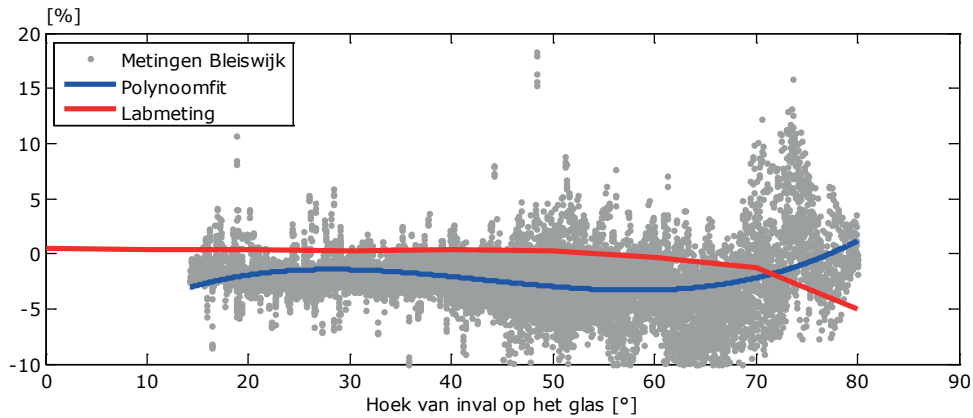
Marcelis, L.F.M., Buwalda, F., Dieleman, J.A., Dueck, T.A., Elings, A., Gelder, A. de, Hemming, S., Kempkes, F.L.K., Li, T., Noort, F. van and Visser, P.H.B. de 2014.

Innovations in Crop Production: a Matter of Physiology and Technology. Acta Hort. 1037:39-46.

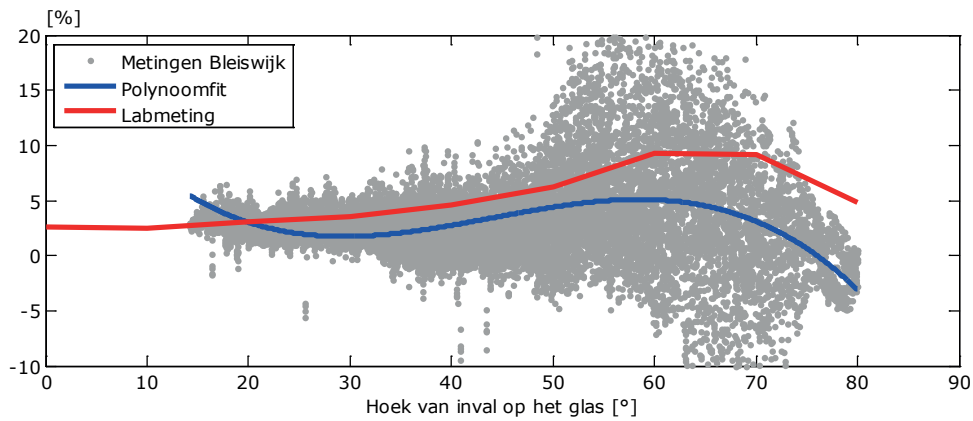
Stanghellini, C.; Mohammadkhani, V.; Bruins, M.A.; Hemming, S.; Sonneveld, P.J., 2010

Condensatie tegen het kasdek; Licht- en energie-effecten van condensatie op acht kasdekmaterialen. Rapport GTB 1025, Wageningen UR Glastuinbouw.

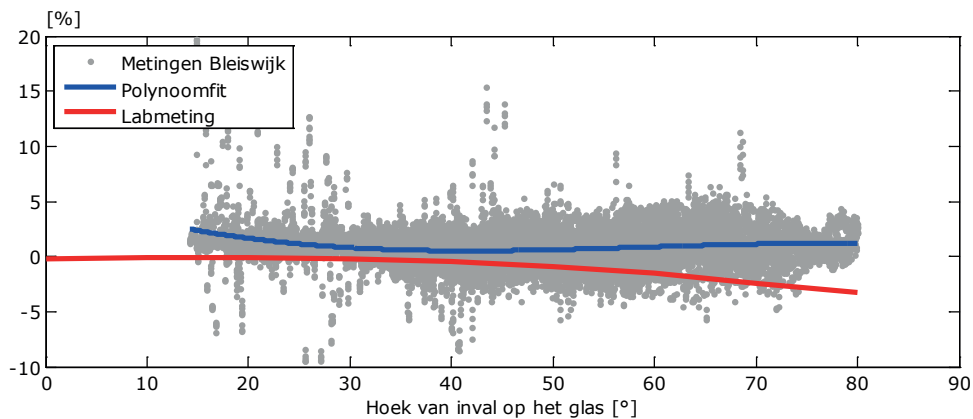
Bijlage 1 Figuren hoekafhankelijke transmissie effect



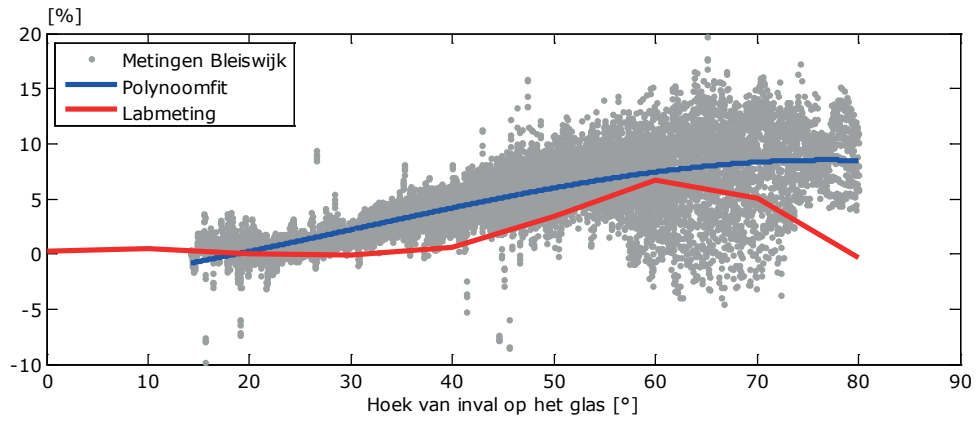
Figuur I.1 Verschil tussen nat en droog voor de referentie ruit (Blank glas geen coatings) afhankelijk van de hoek van inval van het directe licht.



Figuur I.2 Verschil tussen nat en droog voor het Piramideglas 1 met de structuur naar binnen afhankelijk van de hoek van inval van het directe licht.



Figuur I.3 Verschil tussen nat en droog voor het Piramideglas 1 met de structuur naar buiten afhankelijk van de hoek van inval van het directe licht.



Figuur I.4 Verschil tussen nat en droog voor het Piramideglas 2 met de structuur naar binnen afhankelijk van de hoek van inval van het directe licht.

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



Wageningen UR Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wageningenur.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport GTB-1375

Wageningen UR 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 UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University 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 Wageningen UR 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.