



# Verbetering lichtinval winterlicht

Eindrapportage deelproject Schaalmodellen

Gert-Jan Swinkels, Frank Kempkes en Silke Hemming

Rapport GTB-1364

## **Referaat**

Omdat in de wintermaanden de productprijzen doorgaans hoog zijn en er tegelijkertijd sprake is van licht als beperkende groeifactor, is het belangrijk om het beschikbare zonlicht zo veel mogelijk te benutten voor de gewasproductie. Belangrijke factoren hierbij zijn de structuur van de kas (constructie elementen, oriëntatie, hellingshoek, symmetrisch of asymmetrisch kasdek) en het kasdek materiaal (basismateriaal, coating(s), diffuus of helder). In een eerste fase van het project is een simulatiemodel gebruikt om tot een aantal veelbelovende nieuwe concepten te komen. Een combinatie van deze concepten zal geïntegreerd worden in een prototype "winterlichtkas" waarvan een demonstratiekas gebouwd zal worden als onderdeel van het IDC Energie. Om het simulatiemodel te valideren is een proef uitgevoerd met een 3-tal schaalmodellen waarvan de lichttransmissie tijdens de wintermaanden in het open veld gemeten zijn. Ondanks een aantal versturende elementen, zoals regen en condensatie, was er gemiddeld gezien een goede match tussen meting en berekening. Als algemene conclusie geldt dan ook dat het simulatiemodel geen consistente grote verschillen laat zien tussen simulatie en meting. Ook is aangetoond dat een asymmetrisch dek (zaagtand) in combinatie met diffuus glas geen significante lichtwinst oplevert zodat voor de te bouwen demo kas gekozen kan worden voor een Venlo kasdek.

## **Abstract**

During winter product prices are usually high in combination with natural light as a limiting growth factor. Therefore it is important to use all the available sunlight for crop production. Important factors which influence light transmission are the structure of the greenhouse (construction elements, orientation, roof slope, symmetrical or asymmetrical design) and the greenhouse roof material (base material, coating(s), diffuse or clear). In the first phase of the project a simulation model is used for analysing a number of promising new concepts. A combination of these concepts will be integrated in a prototype greenhouse which will be built as part of the IDC Energy. In order to validate the simulation model a practical experiment with scale models in the open field is carried out. During the winter the transmission of these scale models is measured. Despite a number of factors which could not be controlled or modelled, such as rain and condensation, in general there was a good match between measurement and calculation. As an overall conclusion, the simulation model shows no consistent differences with the measurements. It is also proved that an asymmetric cover (saw tooth) in combination with diffuse glass does not constitute significantly to the light transmission in comparison with a Venlo cover. This supports the decisions made during the design of the final full scale demo greenhouse.

## **Rapportgegevens**

Rapport GTB-1364

Projectnummer: 3742199900

## **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](mailto:glastuinbouw@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/glastuinbouw](http://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

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Ontwerp en fabricage</b>	<b>9</b>
	2.1 Schaalmodellen	9
	2.2 Detector	10
	2.3 Stralingsmeter en DAQ	12
	2.4 Proeflocatie	13
<b>3</b>	<b>Meetresultaten</b>	<b>15</b>
	3.1 Labmetingen	15
	3.1.1 Transmissie	15
	3.1.2 Scattering	16
	3.2 Veldmetingen	18
<b>4</b>	<b>Simulaties</b>	<b>21</b>
	4.1 Model	21
	4.2 Zonnespectrum en detectorgevoeligheid	22
	4.3 Verstoringen	23
	4.3.1 Neerslag en condensatie	23
	4.3.2 Lichtverdeling hemel	24
<b>5</b>	<b>Resultaten</b>	<b>25</b>
	5.1 Validatie model	25
	5.1.1 Hemisferische transmissie	25
	5.1.2 Directe transmissie	26
	5.1.3 Transmissie tijdens regen	29
	5.1.4 Stralingsom	29
<b>6</b>	<b>Conclusies</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Literatuur</b>	<b>33</b>
	<b>Bijlage I Meetapparatuur Lichtlab Wageningen UR Glastuinbouw</b>	<b>35</b>



# Samenvatting

Vooraf in de wintermaanden zijn productprijzen doorgaans hoog, waardoor juist de winterproductie voor telers belangrijk is. Omdat dan ook sprake is van licht als beperkende groeifactor is het belangrijk om het beschikbare natuurlijke licht zo veel mogelijk voor de gewasproductie te benutten. Hoe het winterlicht optimaal door het gewas gebruikt kan worden is afhankelijk van vele factoren die elkaar onderling beïnvloeden. Belangrijke factoren zijn de structuur van de kas (constructie elementen, oriëntatie, hellingshoek en of vorm van het kasdek [symmetrisch of asymmetrisch]) en het kasdek materiaal (basismateriaal, toevoegen van coating(s), toevoegen van een diffuse structuur).

In de eerste fase van het project "Verbetering lichtinval winterlicht", gefinancierd uit o.a. het programma Kas als Energiebron, zijn modelberekeningen gedaan om de invloed van bovengenoemde factoren op de lichttransmissie van de kas te bepalen. Uit deze modelberekeningen zijn een aantal veelbelovende nieuwe oplossingen naar voren gekomen. Een combinatie van deze oplossingen zal geïntegreerd worden in een prototype "winterlichtkas" waarvan een 500 m<sup>2</sup> demonstratiekas in de zomer van 2016 gebouwd zal worden als onderdeel van het IDC Energie.

Om het model waarop de berekeningen en de daaruit getrokken conclusies gebaseerd zijn te valideren is een proef uitgevoerd met schaalmodellen. Op basis van de bevindingen uit het de eerste fase van het project "Winterlicht" zijn een 3-tal schaalmodellen gebouwd waarvan de lichttransmissie tijdens de maanden februari in het open veld gemeten zijn. Op basis van de meetgegevens is het model gevalideerd en zijn conclusies getrokken over een zaagtand dek en het toepassen van een hoog reflecterende constructie.

Ten aanzien van de modelvalidatie is geconstateerd dat er een mogelijke verstoringen zijn geweest die van invloed waren op de metingen. De belangrijkste zijn condensatie en neerslag waardoor het model alleen vergeleken worden met de metingen in droge toestand. Wanneer de schaalmodellen droog waren was niet met zekerheid vast te stellen. Gezien de mogelijke storingen is er gemiddeld gezien een goede match tussen meting en berekening. De match is overdag beter dan aan de randen van de dag. Waar de gesimuleerde hemisferische transmissie een constante is laat de gemeten transmissie tijdens volledig bewolkte momenten een spreiding zien tot ca. 5%. Dit betekent dat de homogeen verdeelde hemel uit het simulatiemodel niet altijd overeenkomt met wat de diffuse stralingsmeter als volledig diffuus interpreteert. Gemiddeld gezien komt de gemeten hemisferische transmissie echter wel goed overeen met de berekende waarde

Als algemene conclusie geldt dat het model geen consistente grote verschillen laat zien ten opzichte van de metingen. Metingen waarbij de kans op verstoringen minimaal is laten een goede match zien met de berekeningen. De grootste verschillen treden op aan de randen van de dag, dus vooral op momenten met relatief weinig daglicht, waardoor een vergelijking op basis van (etmaal) lichtsom een nog betere match oplevert.

Het ontwerp van de schaalmodellen is zodanig gekozen dat het netto effect van een zaagtandvorm onderzocht is, iets wat ook gebeurd is in de eerste fase van het project "Verbetering lichtinval winter". In deze fase leek een zaagtand dekvorm een (geringe) lichtwinst op te leveren bij toepassing van helder glas. Bij diffuus glas bleek er echter nauwelijks tot geen sprake van lichtwinst. Door metingen aan de schaalmodellen is het nu veel aannemelijker gemaakt dat dit ook inderdaad zo is en kunnen de keuzes voor de kas in de uiteindelijk te bouwen demo beter ondersteund worden.





# 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. 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 betekent, er hoeft dan minder additioneel gestookt te worden.

Hoe het winterlicht optimaal door het gewas gebruikt kan worden 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]).
- Kasdek materiaal (basismateriaal, toevoegen van coating(s), toevoegen van een diffuse structuur).
- Condensatie, condensatievorm en vervuiling van het glas.
- Inrichting van de kas (installaties tussen het kasdek en het gewas).
- Gewasparameters (plantdatum en daarmee ontwikkelingsstadium en bladpakket, plantafstand, gewasoriëntatie, gewasmanagement).
- Interactie van de hiervoor genoemde punten.

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. In de eerste fase van het project "Verbetering lichtinval winterlicht", gefinancierd uit o.a. het programma Kas als Energiebron, zijn modelberekeningen gedaan naar de kasdekvorm, de oriëntatie van de kas en verbeteringen aan het kasdek materiaal met coatings en metingen naar de invloed van condensatievorm om de totale kasdektransmissie in de winter te maximaliseren. Uit deze modelberekeningen zijn een aantal veelbelovende nieuwe oplossingen naar voren gekomen die voor meer licht in de kas tijdens de wintermaanden zorgen. Een combinatie van deze oplossingen zal geïntegreerd worden in een prototype "winterlichtkas" waarvan een 500 m<sup>2</sup> demonstratiekas in de zomer van 2016 gebouwd zal worden als onderdeel van het IDC Energie.

Het ontwerp van de te bouwen Winterlichtkas is grotendeels gebaseerd op de resultaten van de modelberekeningen. Hierdoor is het van groot belang dat de berekeningen en de daaruit getrokken conclusies juist zijn. Om de gebruikte modellen te valideren is daarom een proef uitgevoerd met schaalmodellen waarvan de resultaten in dit rapport vastgelegd zijn. De belangrijkste doelstellingen voor deze proef zijn:

- Validatie van het in het Winterlicht project gebruikte simulatiemodel en procedures.
- Onderzoeken van het effect van een zaagtand dekvorm in vergelijking met een Venlo dek.

Uit de eerdere berekeningen kwam de lichtwinst deels uit het kasontwerp (asymmetrie, profielen) en deels uit het glas (coating, condensatie). Effecten van condensatie op transmissie kunnen niet met schaalmodellen worden aangetoond omdat hiervoor een gewas en klimaatbeheersing nodig zijn. In het project verbetering lichtinval winterlicht zijn hier indicatieve metingen aan verricht. De effecten van bestaande AR-coatings zijn bekend en hoeven niet met schaalmodellen aangetoond te worden. Hiermee blijven het kasontwerp (Venlo, asymmetrisch) en oppervlaktebehandelingen voor de kasconstructie over als belangrijke parameters waarvan het effect met schaalmodellen kan worden aangetoond.

Op basis van de bevindingen uit het de eerste fase van het project "Winterlicht" zijn een 3-tal schaalmodellen gebouwd waarmee het model gevalideerd kan worden en op basis waarvan eveneens conclusies getrokken kunnen worden over de effecten van een zaagtand dek en een hoog reflecterende constructie.

In de volgende hoofdstukken worden het ontwerp en de fabricage van schaalmodellen en meetopstelling, de resultaten van metingen behandeld en een vergelijking gemaakt tussen de metingen en de simulaties.





## 2 Ontwerp en fabricage

### 2.1 Schaalmodellen

Bij het ontwerp van de schaalmodellen is er van uitgegaan dat het mogelijk moet zijn om de uiteindelijke schaalmodellen 1-op-1 te kunnen doorrekenen met het simulatiemodel. Ten eerste betekent dit dat er een 3D CAD ontwerp beschikbaar moet zijn dan in het model kan worden geïmporteerd. Ten tweede moeten ook de optische eigenschappen van de gebruikte materialen spectraal bekend zijn en door het model kunnen worden geïmporteerd. Uitgangspunt bij het ontwerp van de schaalmodellen is een goede weergave van een echte tuinbouwkas. Voor validatie van simulatiemodel is het echter van minder belang dat de modellen een waarheidsgetrouwe kopie zijn van een echte kas. Het gaat immers om een vergelijking tussen meten en berekenen. Ook gezien de kosten is uiteindelijk gekozen voor modellen die bestaan uit vereenvoudigde profielen voor goot, nok en roeden en met 4 mm helder en diffuus tuinbouwglas.

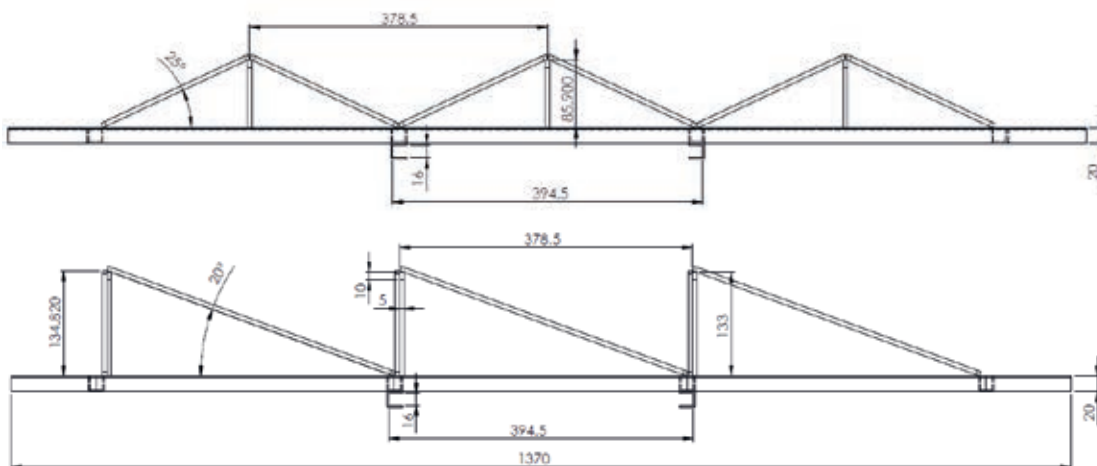
De volgende schaalmodellen zijn gebouwd:

	Dekvorm	Dekmateriaal	Constructie
Schaalmodel 1	Venlo	helder glas	Hoog absorberend (zwart)
Schaalmodel 2	Venlo	Diffuus glas	Hoog reflecterend (wit)
Schaalmodel 3	Zaagtand	Diffuus glas	Hoog reflecterend (wit)

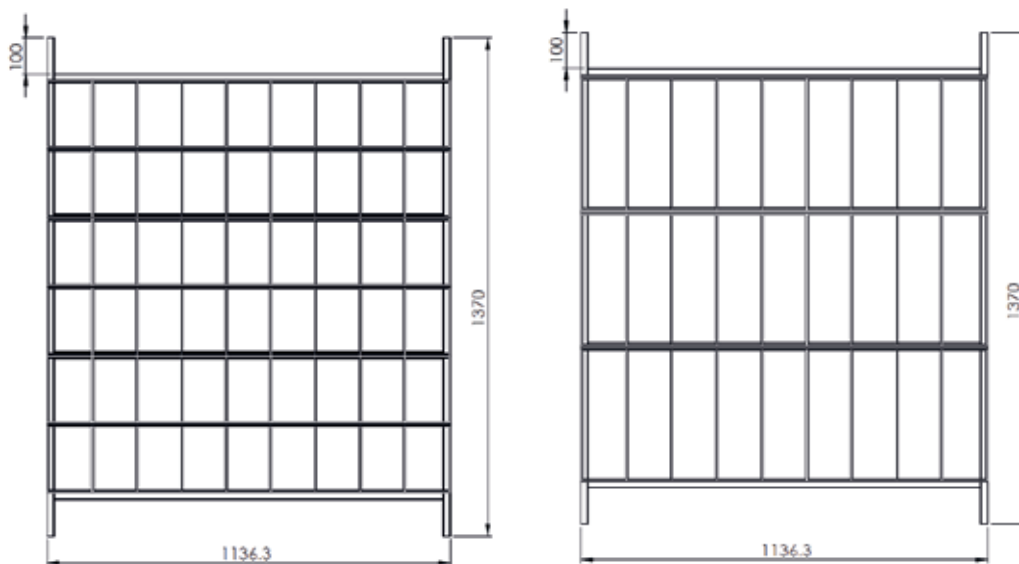
In deze modellen zijn oppervlaktebehandelingen van de kasconstructie, hoekafhankelijke transmissie en lichtverstrooiing van het dekmateriaal en 2 typen dekvormen verdisconteerd.

Omdat de schaalmodellen een beperkte afmeting hebben treedt er een meetfout op wanneer direct aan de rand wordt gemeten, met name bij lage zonnestanden. Dit komt omdat een invallende lichtbundel hier maar 1 keer het dek passeert terwijl in een "oneindig" dek de lichtbundel diverse keren het dek kan passeren (meerdere kappen). Hoewel deze randeffecten voor de validatie geen probleem zijn (deze worden in de berekening meegenomen) moeten ze toch zoveel mogelijk worden beperkt om de conclusies breder te kunnen trekken naar praktijkschaal. De randeffecten zijn zoveel mogelijk beperkt door elk model uit te voeren met 3 kappen en 3 vakken waarbij in het midden van het schaalmodel gemeten is.

In onderstaande figuren zijn de zij- en bovenaanzichten van de CAD ontwerpen weergegeven.



**Figuur 1** Zijanzichten en afmetingen van de ontwerpen voor Venlo (boven) en zaagtand.



**Figuur 2** Bovenaanzichten van de ontwerpen voor Venlo (links) en zaagtand.



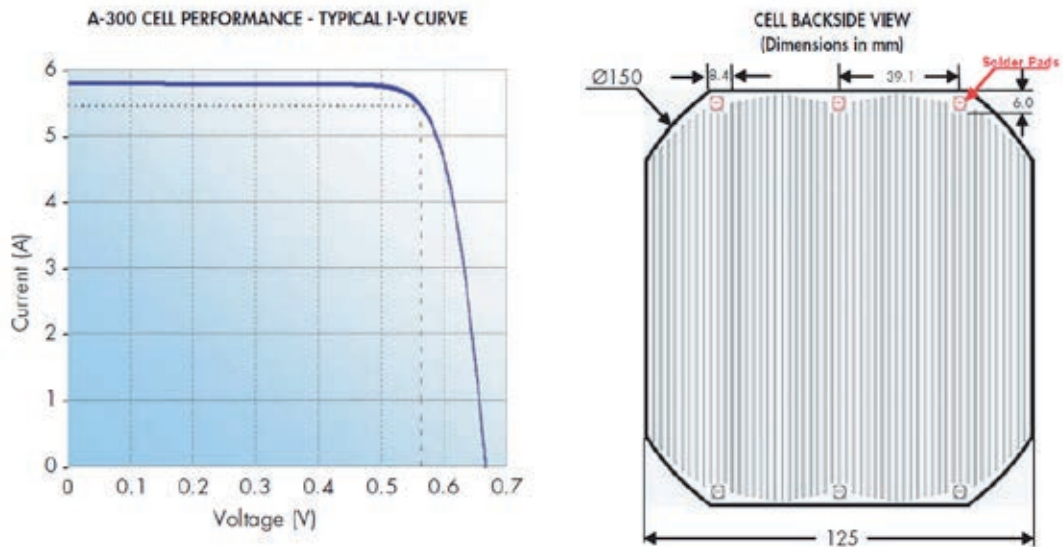
**Figuur 3** 3D model van Venlo en zaagtand zoals gebruikt voor het simulatiemodel.



**Figuur 4** Uiteindelijke schaalmodellen op locatie.

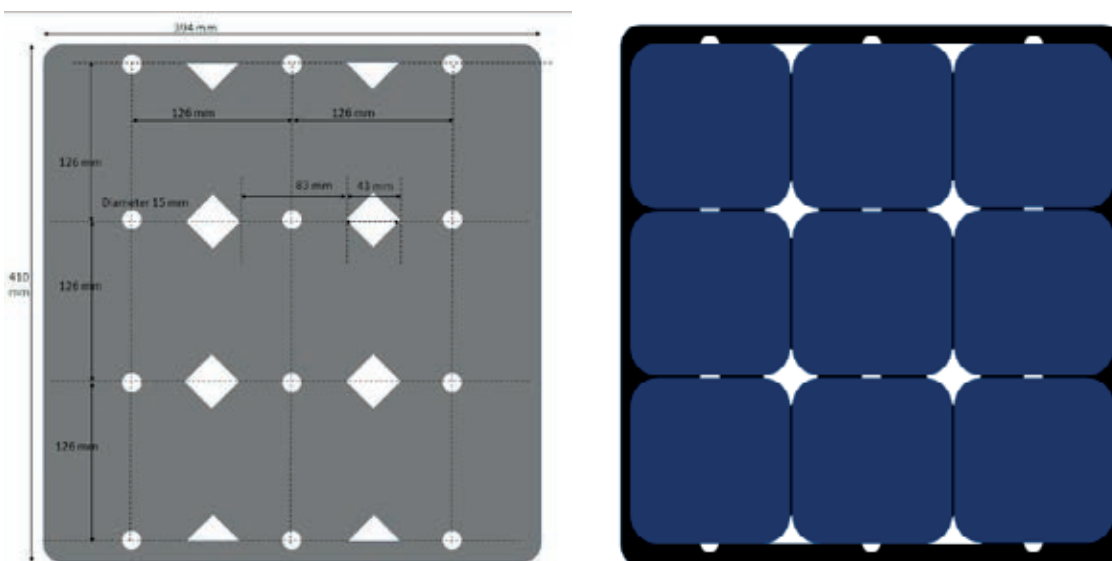
## 2.2 Detector

De lichtintensiteit in de kas dient representatief gemeten te worden omdat het lichtniveau in een kas (onder een schaalmodel) sterk kan variëren, afhankelijk van de plek. Hierdoor kan niet worden volstaan met een gebruikelijke lichtmeter zoals een LI-COR PAR sensor of een pyranometer die normaal gesproken het inkomende licht op één punt meten. Om een representatieve meting te doen zal over het gehele oppervlak van de kleinst repeterende eenheid gemeten moeten worden, in het geval van een kasdek is dit 1 vak bij 1 kap. Met een puntsensor zal dan over een vast grid van meetpunten gemeten moeten worden. Een andere optie is een integrale meting met behulp van fotonvoltaïsche cellen (PV). Er is uiteindelijk gekozen voor een detector bestaande uit 9 cellen van het type A-300 Solar Cell van Sunpower Corporation. In onderstaande tabel en figuur zijn de specificaties van dit type cel weergegeven. De spectrale gevoeligheid (Figuur 22) komt niet helemaal overeen met het PAR gebied maar de gevoeligheid is als modelinput meegenomen bij de berekeningen.



**Figuur 5** IV-curve en maximum powerpoint (links) en afmetingen van de A-300 PV cellen.

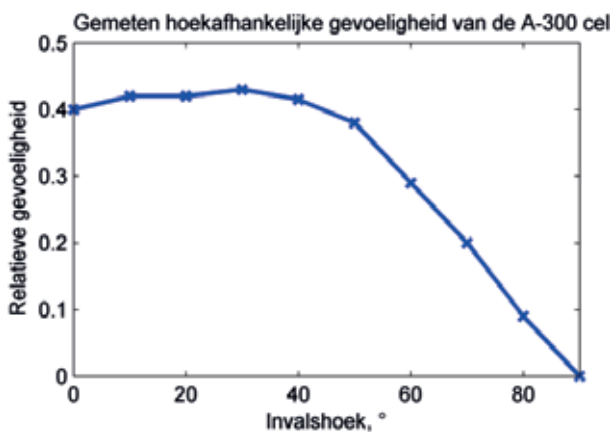
Voor elk schaalmodel en voor de open-veld (referentie) meting is een detector gebouwd, bestaande uit een geperforeerde kunststof bodemplaat met daarop 9 A-300 PV cellen (Figuur 6). Door de cellen parallel aan te sluiten wordt een belangrijk probleem van gedeeltelijke beschaduwing, met een niet-lineaire meting tot gevolg, voorkomen. Hiermee functioneert het geheel als lichtdetector met een lineaire relatie tussen de hoeveelheid fotonen en de gemeten stroomsterkte.



**Figuur 6** Detector bestaande uit een geperforeerde kunststof bodemplaat met daarop 9 A-300 parallel geschakelde zonnecellen. De opgewekte stroom wordt middels kabels door de perforaties naar een weerstand aan de onderzijde afgevoerd en omgezet in millivolts. Het geheel is aan de randen geseald met een transparante kit.

De gevoeligheid van deze detector voor de hoek van inval zorgt er voor dat licht dat onder een hoge hoek invalt naar verhouding minder bijdraagt dan onder kleine hoeken (nabij loodrecht). Het is van belang om deze gevoeligheid mee te nemen in de berekening, vooral wanneer er sprake is van lichtverstrooiing zoals bij schaalmodellen 2 en 3 met een diffuus dekmateriaal het geval is. In geval van veel direct licht zal de detector in het open veld (referentie) het licht binnenkrijgen onder een hoek die afhankelijk is van de elevatie van de zon. De detectoren in de schaalmodellen met het diffuse glas krijgen het licht onder een andere hoekverdeling binnen en zullen een andere waarde meten, zelfs bij een gelijke lichtintensiteit.

Het bepalen van deze invalshoekgevoeligheid is niet eenvoudig omdat ervoor gezorgd moet worden dat de lichtstroom op de detector onder elke hoek van inval gelijk is, dit om de gevoeligheid te kunnen onderscheiden van het zogenaamde cosinus-phi effect, de verdunning van licht onder hogere hoeken. Dit is gebeurd door de detectoren op de grote integrerende bol in het lichtlab van Wageningen UR Glastuinbouw, waarmee ook de transmissiemetingen aan glastuinbouwmaterialen gedaan worden, door te meten. Hierbij is de lichtbundel zodanig smal gekozen dat zelfs bij hoge hoeken geen licht naast de detector valt. Deze meting geeft een goede indicatie. De PV-cellen bedekken het meetoppervlak van de detector namelijk niet geheel (Figuur 6) waardoor de meetwaarde enigszins afhankelijk is van de locatie van de bundel op de detector. Doordat de breedte van de bundel afhankelijk is van de hoek van inval wordt dus telkens een ander deel van de detector belicht. In onderstaande figuur is de gemiddelde hoekgevoeligheid van de detector weergegeven zoals die ook in het simulatiemodel is geïmplementeerd.



**Figuur 7** Relatieve gevoeligheid van de in de lichtdetector gebruikte A-300 PV-cellen als functie van de hoek van inval, gemeten op de Transvision meetapparatuur in het optisch lab van Wageningen UR Glastuinbouw.

Naast de hoekgevoeligheid zijn de gemeten transmissiewaarden sterk afhankelijk van in hoeverre de 4 detectoren dezelfde gevoeligheid en lineariteit hebben. Om hiervoor te compenseren zijn de 4 detectoren een dag naast elkaar in het open veld geplaatst waarna de onderlinge calibratiefactoren bepaald zijn, de zogenaamde nulmeting. Deze calibratiefactoren zijn als input voor het simulatiemodel gebruikt.

## 2.3 Stralingsmeter en DAQ

Om de lichttransmissie met het simulatiemodel te kunnen berekenen moet de verhouding tussen de hoeveelheid direct en diffuus licht bekend zijn. De globale en diffuse straling is gemeten met een SPN1 Pyranometer van Delta-T Devices LTD. Deze sensor bevat geen bewegende delen en hoeft niet handmatig bijgesteld te worden. Ter controle zijn metingen gecontroleerd met metingen van een meteo station van de leerstoelgroep Meteorologie en Luchtkwaliteit van Wageningen UR.



**Figuur 8** De SPN1 Pyranometer van Delta-T Devices LTD waarmee de verhouding tussen directe en diffuse straling gemeten is.

De data-acquisitie is uitgevoerd met een DT500 datataker van Data Electronics LTD. Hiermee zijn gedurende de periode van 12 februari t/m 25 maart 2015 minuutgegevens van de 4 lichtdetectoren en de stralingsmeter gelogd. De minuutwaarden zijn gebaseerd op gemiddelden van 6 samples per minuut.

## 2.4 Proeflocatie

De schaalmodellen zijn geplaatst ten zuiden van het AlgaePARC bij Nergena (Figuur 9), onderdeel van Wageningen UR. Voor AlgaePARC is destijds een rechthoekige betonnen vloer aangebracht die zeer nauwkeurig N-Z georiënteerd is. De schaalmodellen zijn parallel geplaatst aan de proefkas en het "Laantje van Ceres". De oriëntatie van de schaalmodellen ten opzichte van N-Z is bepaald door middel van Microsoft Bing Maps en bedraagt 19.55°, Figuur 10.



**Figuur 9** Satellietfoto van Wageningen UR Proefboerderij Nergena (bron: Bing Maps).



**Figuur 10** Satellietfoto van de betonnen fundering van het AlgaePARC van met daarin geschetst de locatie en de oriëntatie van de schaalmodellen. De offset ten opzichte van het zuiden bedraagt 19.55°.



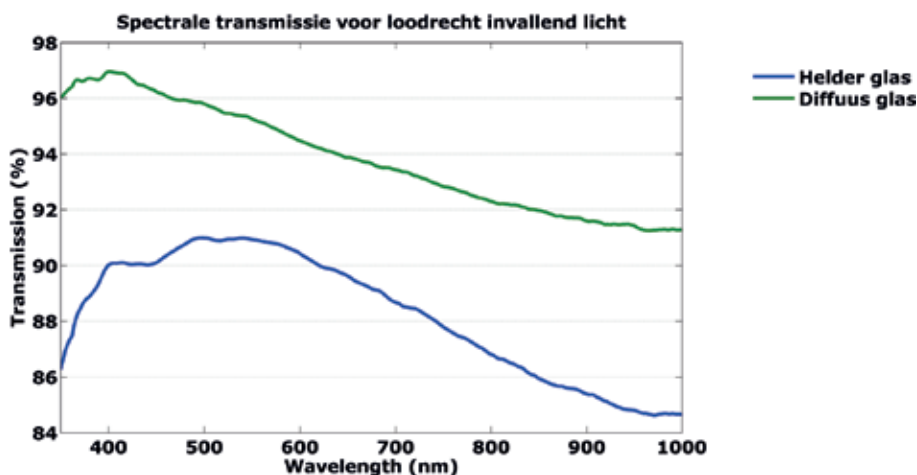
# 3 Meetresultaten

## 3.1 Labmetingen

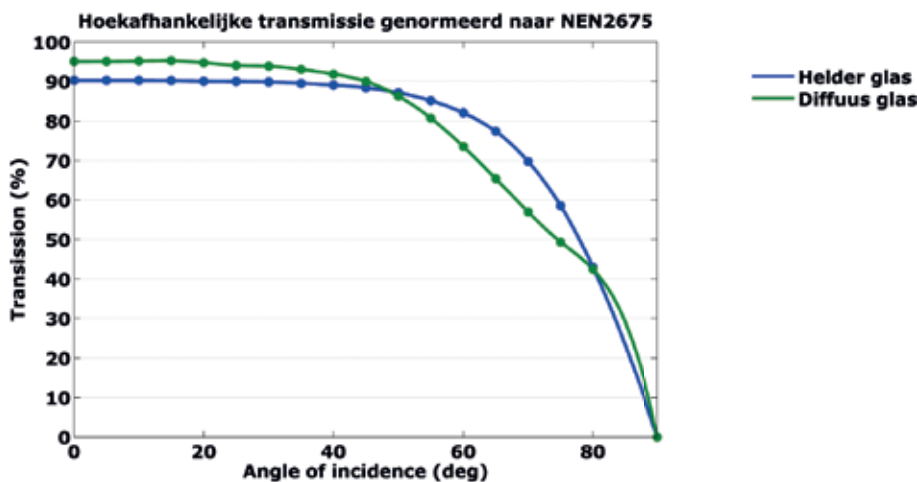
### 3.1.1 Transmissie

Om de veldmetingen met het simulatiemodel te kunnen reproduceren moeten de optische gegevens van de gebruikte materialen bekend zijn. Het gaat dan om de lichttransmissie, lichtreflectie en hoekafhankelijke lichtverstrooiing van zowel het glas als van de gebruikte constructiematerialen. De 2 typen glas zijn doorgemeten op de Transvision apparatuur van het Lichtlab van Wageningen UR Glastuinbouw. Van alle materialen is de lichtverstrooiing gemeten met de IS-SA™ (Imaging Sphere for Scatter and Appearance Measurement, zie Bijlage I).

In onderstaande figuren zijn de spectrale transmissie voor loodrecht invallend licht en de hoekafhankelijke transmissie genormeerd naar NEN2675 weergegeven. In Tabel 1 zijn de transmissie en reflectie van de gebruikte materialen weergegeven.



**Figuur 11** Spectrale transmissie voor loodrecht invallend licht van de 2 typen glas, gemeten op de Transvision meetapparatuur van Wageningen UR Glastuinbouw.



**Figuur 12** Hoekafhankelijke transmissie voor van de 2 typen glas, gemeten op de Transvision meetapparatuur van Wageningen UR Glastuinbouw en genormeerd naar NEN2675.



De reflectie van de constructiematerialen is gemeten op een Perkin Elmer Lambda 950 waarbij aangenomen is dat de reflectie onafhankelijk is van de hoek van inval.

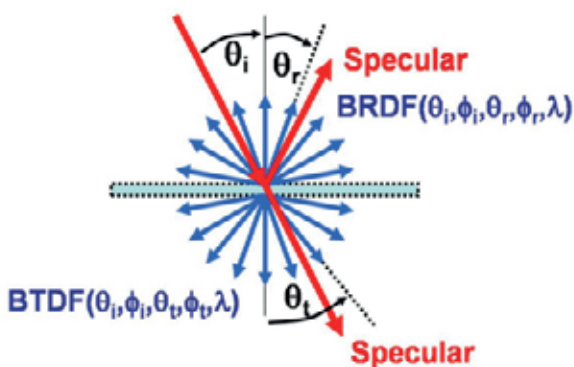
**Tabel 1**

Overzicht van de naar NEN2675 genormeerde transmissie en reflectie van de gebruikte materialen.

	Loodrechte transmissie	Hemisferische transmissie	Loodrechte reflectie
Helder glas	90.3 ±0.2%	82.6 ±0.5%	-
Diffuus glas	95.1 ±0.5%	81.6 ±0.5%	-
Poedercoating zwart	-	-	4.8 ±0.2%
Poedercoating wit	-	-	81.7 ±0.2%

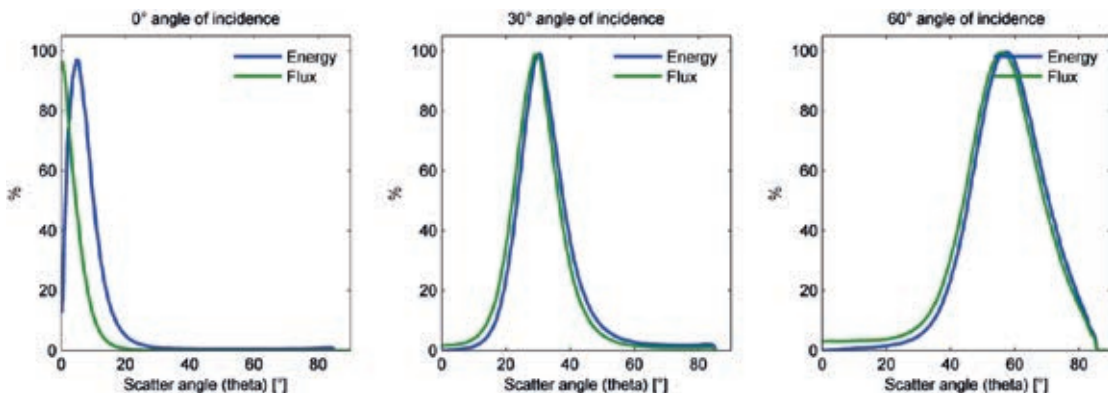
### 3.1.2 Scattering

Met de IS-SA™ kan de hoekafhankelijke lichtverstrooiing van zowel reflectie als transmissie gemeten worden. De resultaten kunnen als Bidirectional Scattering Distribution Function (BSDF) naar het simulatiemodel geëxporteerd worden.

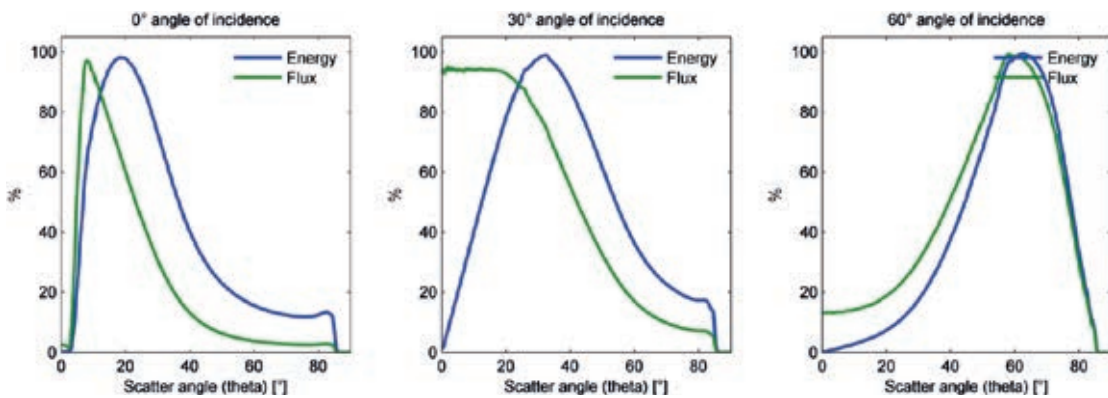


**Figuur 13** Een inkomende lichtstraal heeft een speculaire en een diffuse component. Terwijl de speculaire component niet van richting verandert heeft de diffuse component een lichtverstrooiing die gekarakteriseerd kan worden d.m.v. de Bidirectional Scattering Distribution Function (BSDF), zowel voor het doorgelaten licht (BTDF) als het gereflecteerde licht (BRDF).

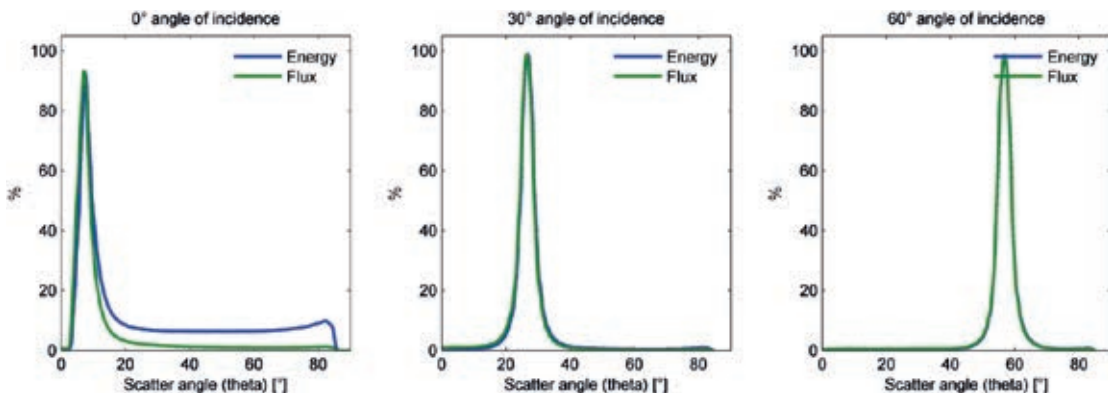
In onderstaande figuren is de lichtspreading onder verschillende invalshoeken weergegeven als relatieve intensiteit en energie als functie van de hoek (scatter angle). Met intensiteit wordt de energie per oppervlakte-eenheid bedoeld, met energie de totale energie die onder de betreffende hoek verstrooid wordt.



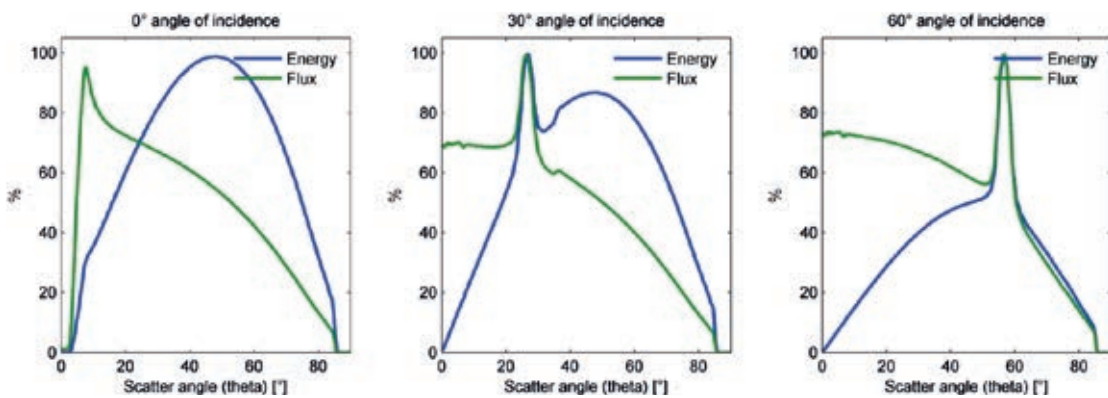
**Figuur 14** BTSDF van het diffuse glas gemeten met de IS-SA™ bij verschillende hoeken van inval: 0,30, 60°.



**Figuur 14** BRDF van het diffuse glas gemeten met de IS-SA™ bij verschillende hoeken van inval: 0,30, 60°.



**Figuur 16** BRDF van de zwarte poedercoating gemeten met de IS-SA™ bij verschillende hoeken van inval: 0,30, 60°.

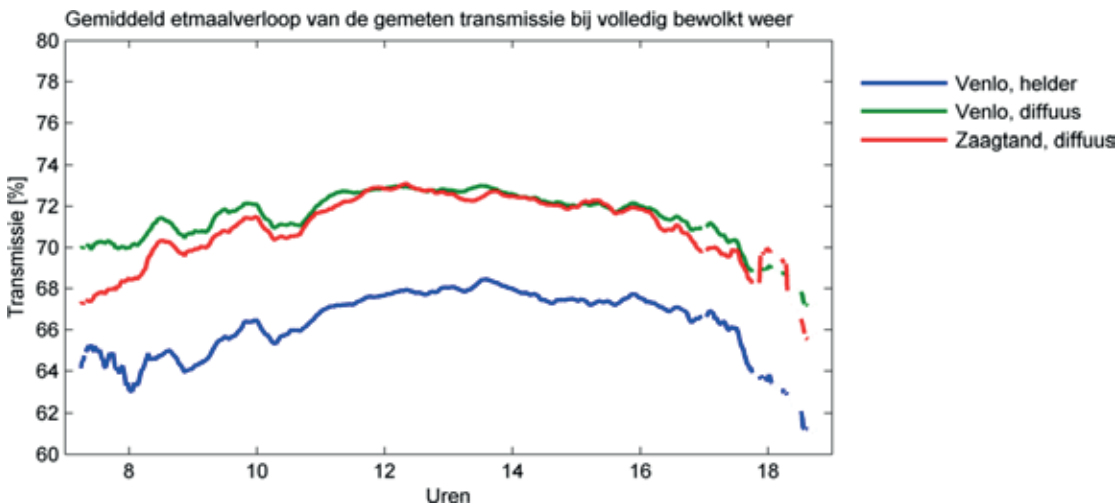


**Figuur 17** BRDF van de witte poedercoating gemeten met de IS-SA™ bij verschillende hoeken van inval: 0,30, 60°.

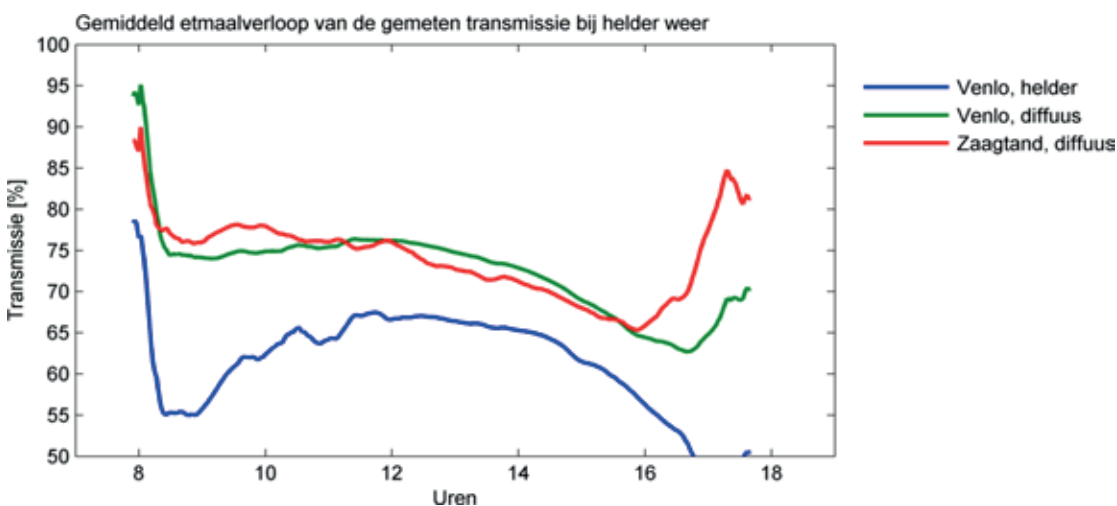
## 3.2 Veldmetingen

De veldmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 11 februari 2015 t/m 25 maart 2015. Hiermee is een database aangelegd met minuutwaarden van de gemeten lichtniveau 's onder elk schaalmodel en een meting in het open veld. Ook zijn de globale en diffuse straling gemeten.

In onderstaande figuren zijn voor de 3 schaalmodellen het gemiddelde etmaalverloop van de gemeten transmissie tijdens bewolkte (licht is meer dan 95% diffuus) en onbewolkte dagen (licht is minder dan 30% diffuus) weergegeven.



**Figuur 18** Gemiddeld etmaalverloop van de gemeten transmissie op bewolkte dagen. De wit gecoate en diffuse Venlo- en zaagtandmodellen hebben een vergelijkbare transmissie die ca. 10% hoger ligt dan het zwart gecoate helder Venlo-model.



**Figuur 19** Gemiddeld etmaalverloop van de gemeten transmissie op heldere dagen. Ook op heldere dagen hebben de wit gecoate en diffuse Venlo- en zaagtandmodellen een vergelijkbare transmissie die ca. 10% hoger ligt dan het zwart gecoate helder Venlo-model.

Uit bovenstaande figuren is het volgende af te leiden:

- De gemeten transmissie bij vrijwel volledig bewolkt weer (hemisferische transmissie) is niet constant en heeft midden op de dag een ca. 4% hogere waarde dan aan de randen van de dag.

- Ondanks een iets lagere hemisferische transmissie van het diffuse glas ligt de gemeten hemisferische transmissie van de beide schaalmodellen met het diffuse glas ca. 5% hoger dan die van het helder glas. Deze winst is dus volledig toe te schrijven aan de witte poedercoating.
- Op de heldere dagen is het gemiddelde verschil tussen het model met helder glas en de beide modellen met diffuus glas ca. 10%. Dit verschil is een combinatie van een hogere directe transmissie van het diffuse glas onder lage hoeken (t.o.v. loodrechte inval) en het effect van de witte poedercoating.
- Het verschil tussen model 2 en model 3 is alleen de dekvorm (Venlo versus zaagtand). Voor zowel bewolkte als onbewolkte dagen presteert een zaagtand kasdek onder de gegeven condities vergelijkbaar met een Venlo kasdek.



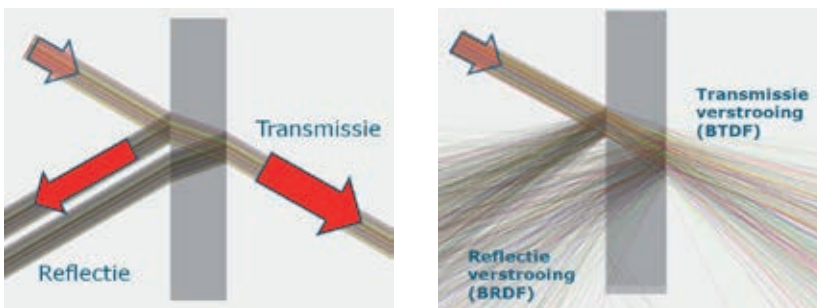
# 4 Simulaties

## 4.1 Model

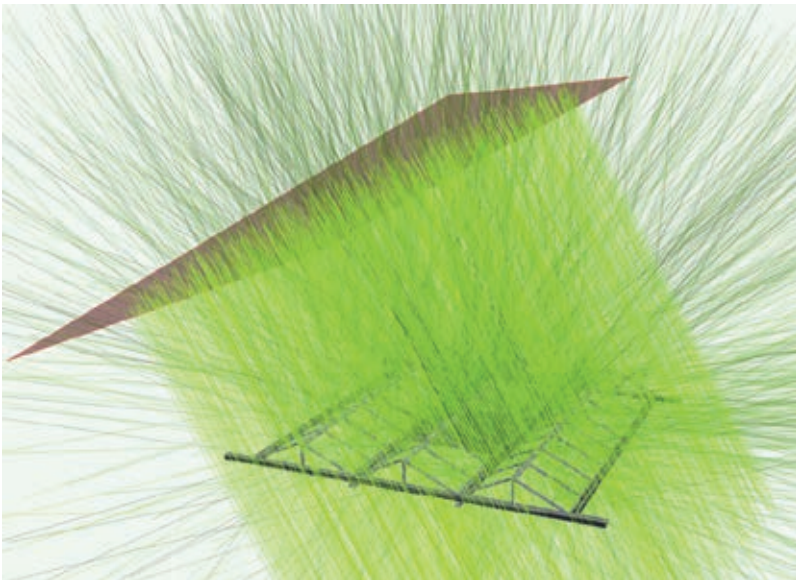
Het simulatiemodel Raypro berekent de optische eigenschappen van een object in een 3D omgeving. Het model is gebaseerd op ray-tracing, een methode waarmee een lichtstraal vanaf een lichtbron door het object gevolgd wordt (Figuur 20, 21). De geometrie van het object wordt vertaald naar een verzameling 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 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 object raakt. Afzonderlijke lichtstralen worden, op basis van hun berekende hoek en intensiteit, uitpuittend 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.

Raypro is ontwikkeld, gevalideerd en gebruikt tijdens de ontwikkeling van nieuwe kasconcepten zoals kasdekmaterialen met een zigzag structuur (Swinkels, 2001), elektriciteit producerende kassen (Sonneveld *et al.*, 2006, 2010, 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2012c) en onderzoek naar oppervlaktestructuren voor het verhogen van lichtdoorlatendheid en verstrooiing (Swinkels, 2013, Gieling 2010).

Optische eigenschappen van materialen die belangrijk zijn in het model kunnen in het lichtlab van Wageningen UR gemeten worden. Het gaat dan om de (spectrale) transmissie, reflectie en absorptie en om de ruimtelijke verdeling van de lichtverstrooiing bij transmissie en reflectie (BTDF, BRDF).



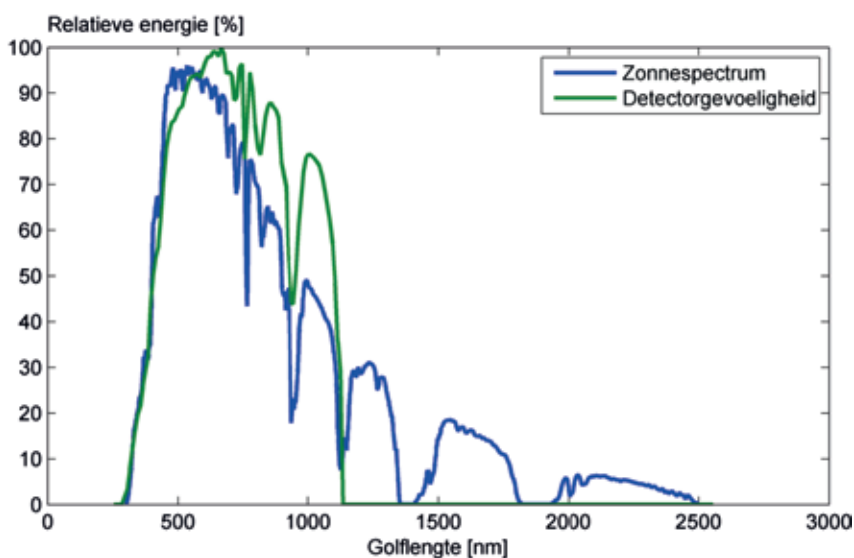
**Figuur 20** Raypro is gebaseerd op ray-tracing. Dit is een methode waarmee de propagatie van licht in een 3D scène berekend kan worden, meestal om een tweedimensionaal beeld te vormen. De objecten in een scène worden wiskundig omschreven samen met andere eigenschappen, zoals kleur, oppervlakte en mate van reflectie. De interactie met objecten (materialen) wordt berekend op basis van optische wetten (links) of verloopt op basis van (lab)metingen van de hoekafhankelijke verstrooiing (rechts).



**Figuur 21** Screenshot van het ray-tracing proces waarbij direct (zon)licht op een 3D model van een schaalmodel geprojecteerd wordt met een elevatie van  $60^\circ$  en een azimuth van  $180^\circ$ . Door de totale lichtintensiteit op de detector te delen door de totale inkomende intensiteit per oppervlakte-eenheid kan de transmissie worden bepaald. N.B. tijdens het ray-tracen worden miljoenen lichtstralen doorgerekend dan de honderden die in dit screenshot zichtbaar zijn.

## 4.2 Zonnespectrum en detectorgevoeligheid

De resulterende meetwaarde van de lichtsensor wordt bepaald door de spectrale energiedichtheid van zonlicht in combinatie met de spectrale gevoeligheid van de pv-cel. Om dit te kunnen simuleren met het simulatiemodel moeten deze gegevens worden ingebracht in het model. Voor zonlicht is de spectrale dichtheid uit de literatuur bekend (Figuur 22). Voor de spectrale gevoeligheid van de gebruikte PV-cellen is de fabrieksopgave gebruikt, echter deze geldt alleen voor loodrechte inval. In het lichtlab van Wageningen UR Glastuinbouw is onderzocht wat de hoekafhankelijke gevoeligheid is van de cel (Figuur 7). Deze is vervolgens door het simulatiemodel gebruikt.



**Figuur 22** Relatieve energie van het zonnespectrum op zeeniveau en de golflengteafhankelijke gevoeligheid van de A300 PV cel.



De optische eigenschappen van de gebruikte materialen van de schaalmodellen (constructie als glas) zijn in het Wageningen UR lichtlab gemeten voor een spectraal bereik van 350 – 1000 nm (Figuur 11). De gevoeligheid van de gebruikte PV-cellen loopt echter van ca. 300 tot 1150 nm. Hierdoor kan een verschil optreden tussen de berekeningen en de metingen.

## 4.3 Verstoringen

### 4.3.1 Neerslag en condensatie

De optische eigenschappen van de gebruikte materialen waarvan de schaalmodellen gemaakt zijn (frame, glas) zijn in het lichtlab van Wageningen UR gemeten onder droge omstandigheden. Dit maakt dat de simulatie alleen voor droge omstandigheden gedaan kan worden. Tijdens de meetperiode is echter geconstateerd dat de modellen vaak nat waren, niet alleen door neerslag maar ook door condensatie (Figuur 23).



**Figuur 23** *Natslag op het glas heeft grote invloed op de lichttransmissie en lichtverstrooiing en kan niet meegenomen worden in de berekeningen. Het gebruikte diffuse glas (rechts) kan vrijwel helder worden bij condensatie maar ook sterker diffuus en deze effecten kunnen zelfs zeer lokaal optreden zoals in de figuur rechts zichtbaar is.*

Ook hebben de detectoren te lijden gehad onder condensatie tussen de glasplaat en de PV-cellen waardoor corrosie is opgetreden (Figuur 24).



**Figuur 24** *Corrosie van de detector ten gevolge van condensatie tussen de PV-cellen en de glasplaat.*

Bij de vergelijking tussen de berekeningen en de metingen is zoveel mogelijk geprobeerd de 'natte' data buiten beschouwing te laten.

#### 4.3.2 Lichtverdeling hemel

De berekening van de lichttransmissie van de schaalmodellen is gebaseerd op diffuus en direct licht. Hierbij wordt de diffuse (hemisferische) transmissie uitgerekend als één waarde per golflengte en de directe transmissie als één waarde per golflengte voor alle mogelijke zonnestanden.

Diffuus (hemisferisch) of hemisferisch licht is gedefinieerd als Lambertiaans: licht met een schijnbare helderheid die voor een waarnemer altijd hetzelfde is, ongeacht de kijkhoek van de waarnemer. Deze situatie treedt in de praktijk praktisch alleen op tijdens mist of nevel of een uiterst homogene bewolking. Bij een volledig bewolkte hemel is echter ook sprake van diffuus licht maar zal licht onder bepaalde invalshoeken oververtegenwoordigd zijn door dichtheidsverschillen in het wolkendek. Dit is niet meetbaar en derhalve ook niet meegenomen in de berekeningen.

# 5 Resultaten

## 5.1 Validatie model

Voor het valideren van het model wordt een vergelijking gemaakt tussen de berekende en gemeten transmissiewaarden. Ten gevolge van mogelijke verstoringen wordt in eerste instantie een selectie uit de meetdata gemaakt waarbij de kans op verstoringen minimaal wordt geacht. Wanneer de schaalmodellen droog waren is niet met zekerheid vast te stellen maar op basis van gemeten neerslag, een aangenomen periode van opdrogen en een ondergrens voor de buitentemperatuur wordt een zo goed mogelijk "droge" selectie gemaakt uit de meetdata.

Allereerst is onderzocht in hoeverre de berekende transmissie overeenkomt met de gemeten transmissie, opgesplitst naar bewolkte en heldere momenten.

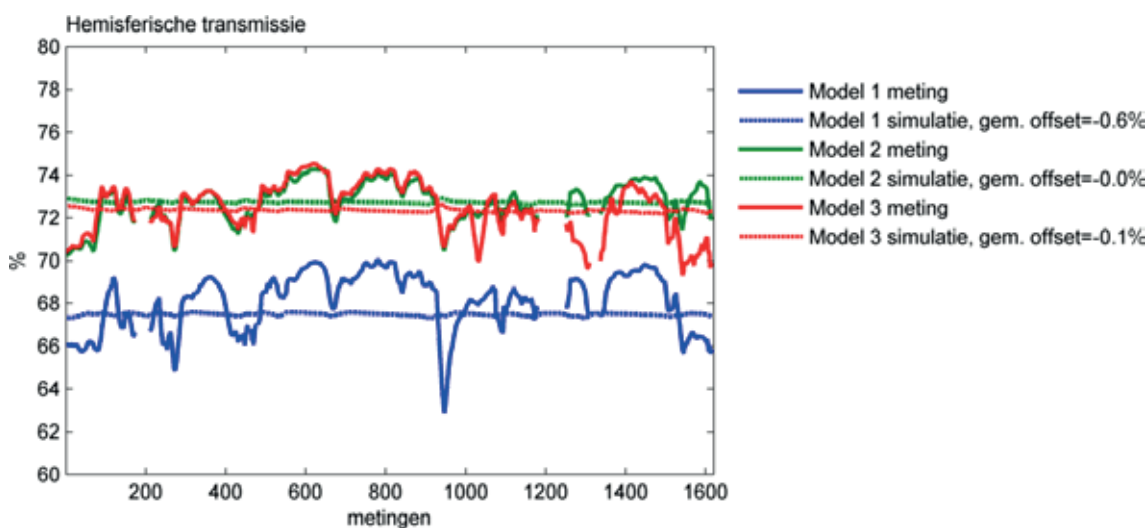
Voor onderzoeksprojecten zoals "Verbetering lichtinval winter" is de (dagelijkse) stralingsom echter een betere indicatie dan alleen de transmissiefactor. Om dit inzichtelijk te maken zijn de gemeten en berekende transmissie gewogen naar de gemeten straling.

### 5.1.1 Hemisferische transmissie

Uit de meetdata is een selectie van 1600 metingen gemaakt op basis van de volgende condities:

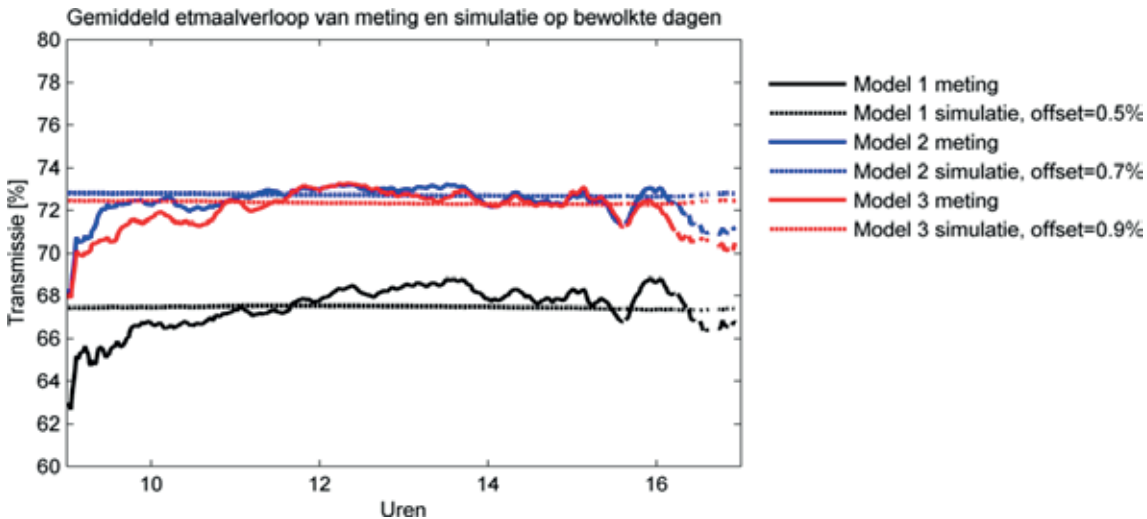
- De schaalmodellen zijn droog, dat wil zeggen dat er volgens de regensensor van het meteo station van Wageningen UR geen neerslag gemeten is waarbij er een "opdroogperiode" van 3 uur aangehouden is na de laatste gemeten neerslag.
- Er is een ondergrens van 5°C buitenluchttemperatuur aangehouden om de kans op condensatie te verkleinen.
- De straling is (vrijwel) hemisferisch, d.w.z. de fractie diffuus licht is groter dan 0.975.

In Figuur 26 zijn voor deze selectie de berekende transmissiewaarden uitgezet tegen de gemeten waarden. Een zuivere hemisferische transmissie is in principe onafhankelijk van de zonnestand en stralingsniveau en is daarom een constante waarde (vlakke lijn). Door de minimale directe component schommelt de berekende waarde enigszins. De gemeten transmissies schommelen echter veel sterker. Mogelijke oorzaken zijn een niet homogeen wolkendeck en natslag van de schaalmodellen.



**Figuur 25** Gemeten en berekende transmissie tijdens volledig bewolkte momenten. De gemiddelde offset is kleiner dan 0.6%.

In Figuur 26 is de zelfde selectie van meetdata gebruikt maar is in plaats van chronologische metingen een gemiddeld etmaalverloop weergegeven. In de vroege ochtend en late middag neemt het verschil tussen meting en simulatie duidelijk toe. Een eenduidige verklaring kan hier niet voor gegeven worden maar het is aannemelijk dat dit veroorzaakt wordt door een combinatie van eerder genoemde verstoringen, een minder homogene lichtverdeling over de hemel, lage lichtintensiteiten en mogelijke meetfouten.



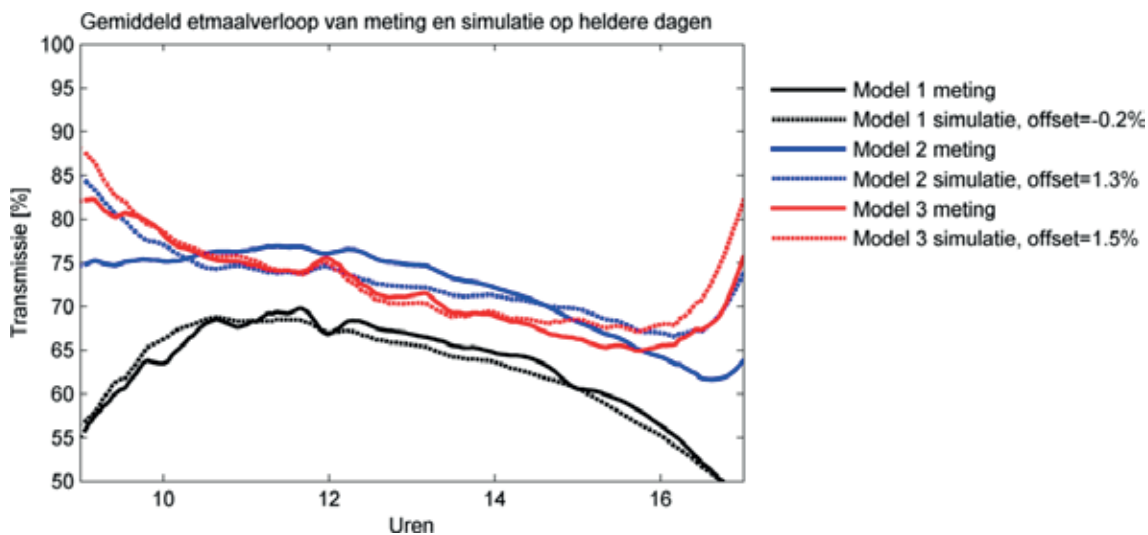
**Figuur 26** Gemiddeld etmaalverloop van de transmissie op volledig bewolkte dagen.

### 5.1.2 Directe transmissie

Uit de meetdata is een selectie van ca. 2500 metingen gemaakt op basis van de volgende condities:

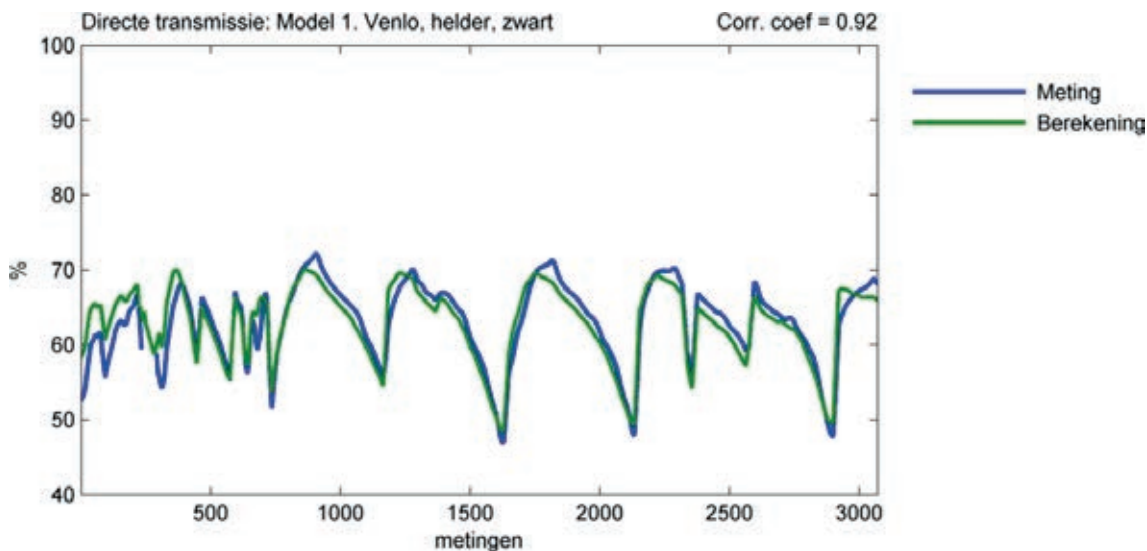
- De schaalmodellen zijn droog, dat wil zeggen dat er volgens de regensensor van het meteo station van Wageningen UR geen neerslag gemeten is waarbij er een "opdroogperiode" van 3 uur aangehouden is na de laatste gemeten neerslag.
- Er is een ondergrens van 5°C buitenluchttemperatuur aangehouden om de kans op condensatie te verkleinen.
- De straling is zoveel mogelijk direct en afkomstig van (vrijwel) onbewolkte dagen, d.w.z. de fractie diffuus licht is kleiner dan 0.25.

In Figuur 26 zijn voor deze selectie de gemiddelde etmaalverlopen van de transmissie op onbewolkte dagen volgens de metingen en de simulaties weergegeven. De match is uitgezonderd de randen van de dag in model 2 (Venlo met diffuus glas) goed. Ook hier kan geen eenduidige verklaring gegeven worden waarom juist model 2 aan de randen van de dag een groter verschil met de meting geeft maar het is aannemelijk dat dit veroorzaakt wordt door een combinatie van eerder genoemde verstoringen en hoekafhankelijkheid van de detector.

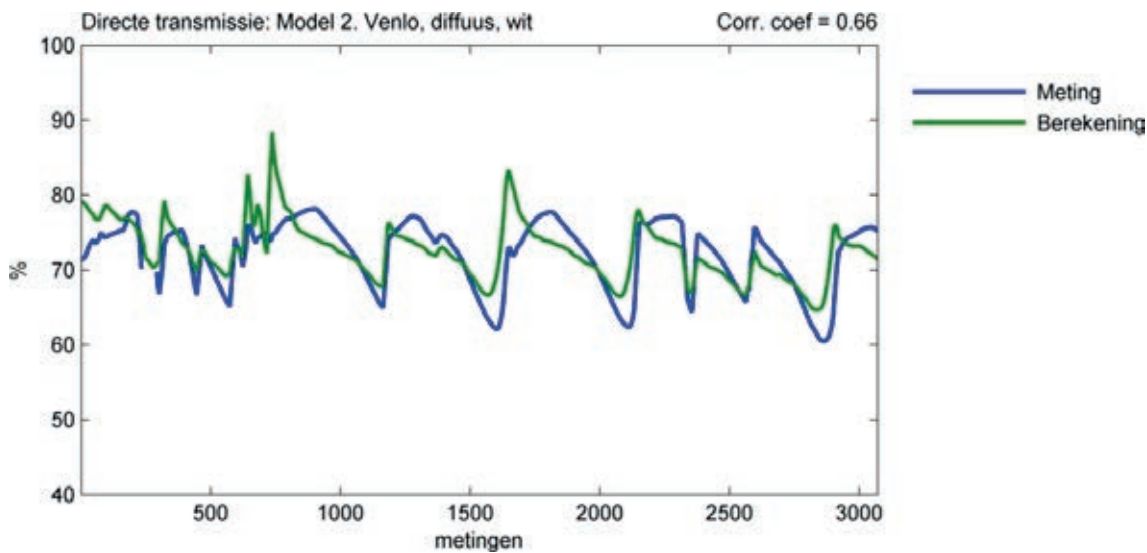


**Figuur 27** Gemiddeld etmaalverloop van de transmissie op onbewolkte dagen. De gemiddelde offset met de metingen is kleiner dan 1.5%.

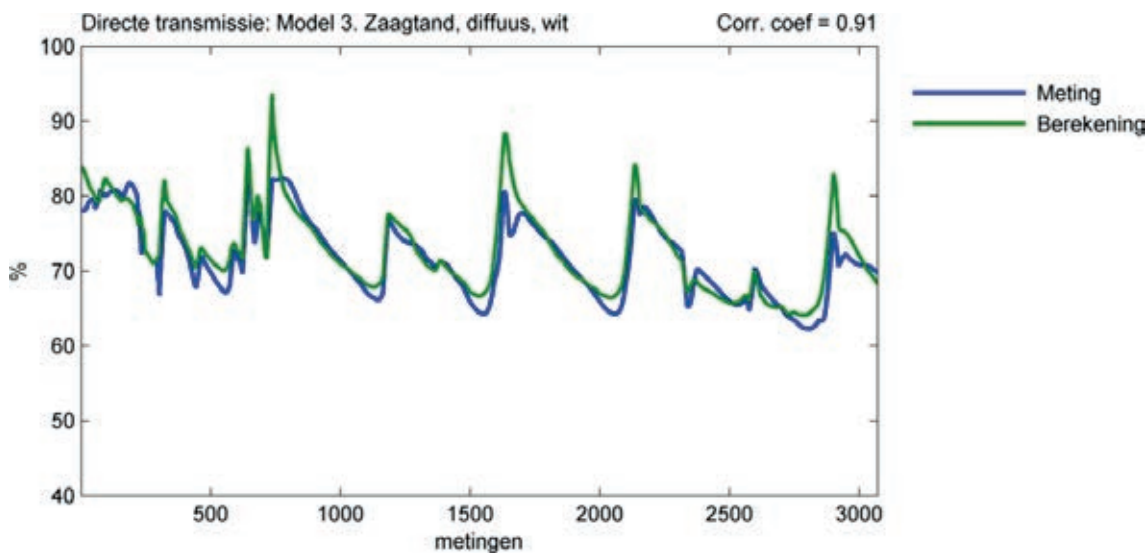
In de onderstaande Figuren(28–30) is voor de drie schaalmodellen de gemeten en berekende transmissie weergegeven op momenten van (vrijwel) onbewolkt weer. Model 1 geeft een goede match tussen meting en berekening met een correlatie coëfficiënt van 0.95. Het verschil is groter bij de modellen met diffuus glas, waarbij de zaagtand een duidelijk hogere correlatie (0.91) laat zien dan de Venlo kas (0.66).



**Figuur 28** Gemeten en berekende transmissie van model 1 (Venlo, helder glas en een zwarte hoog absorberende constructie) tijdens onbewolkte momenten.

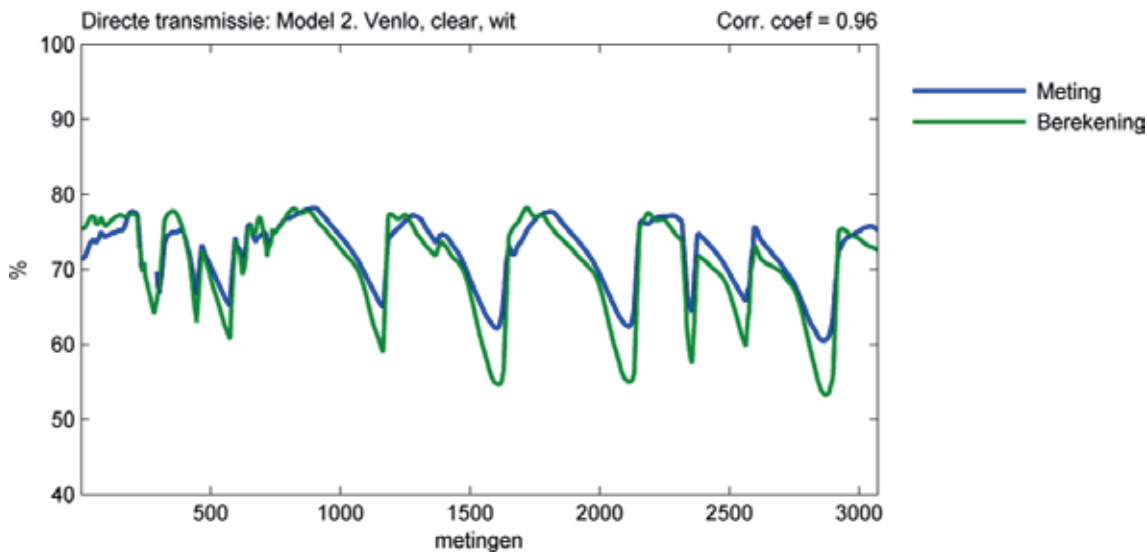


**Figuur 29** Gemeten en berekende transmissie van model 2 (Venlo, diffuus glas en een witte poedercoating) tijdens onbewolkte momenten (direct licht).



**Figuur 30** Gemeten en berekende transmissie van model 3 (Zaagtand, diffuus glas en een witte poedercoating) tijdens onbewolkte momenten.

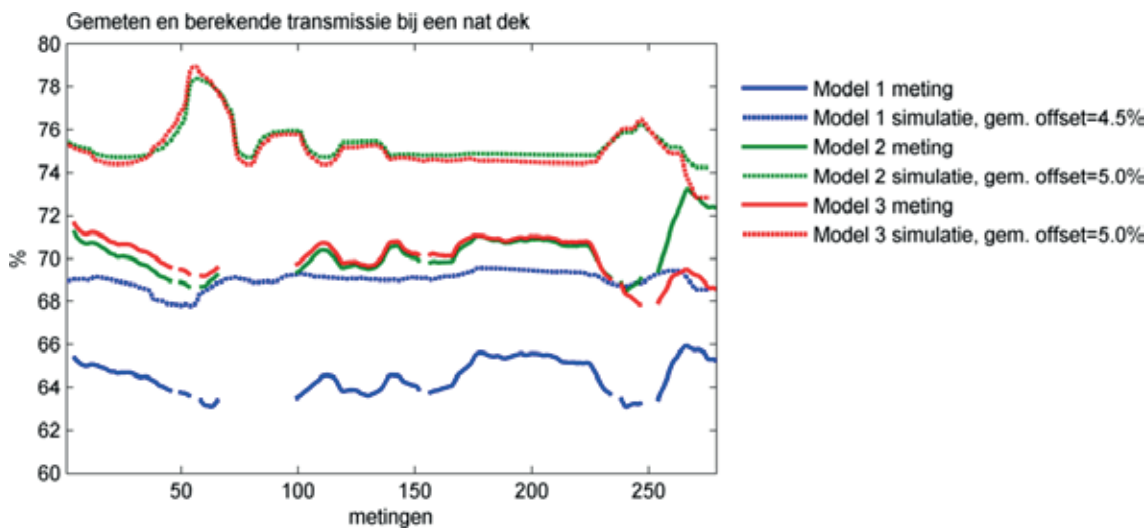
Het blijkt dat de mate van lichtverstrooiing een grote invloed heeft op de uitkomsten van de berekeningen, vooral bij schaalmodel 2. In onderstaande grafiek zijn de resultaten gegeven van een berekening van schaalmodel 2 met helder glas in plaats van diffuus glas, maar wel met de transmissie van diffuus glas. Hoewel de transmissie nu op een aantal momenten onderschat wordt is de correlatiecoëfficiënt nu 0.96 in plaats van 0.66. Een mogelijke verklaring is het feit dat het diffuse glas toch nat geweest is waardoor de verstrooiing (veel) lager was dan die in de droge toestand gemeten is.



**Figuur 31** Gemeten en berekende transmissie van model 2 (Venlo, helder glas en een witte poedercoating) tijdens onbewolkte momenten.

### 5.1.3 Transmissie tijdens regen

De resultaten uit de eerdere paragrafen zijn gebaseerd op momenten waarop er geen neerslag gemeten is en alle metingen waarbij het langer dan 3 uren droog is (opdroogperiode). In onderstaande figuur is het verschil tussen meting en berekening weergegeven, alleen op momenten dat er neerslag gemeten is, dus zonder opdroogperiode. Het blijkt dat de match nu veel minder goed is dan bij droge momenten, waarbij regelmatig ook nog tegenovergestelde trends zichtbaar zijn.



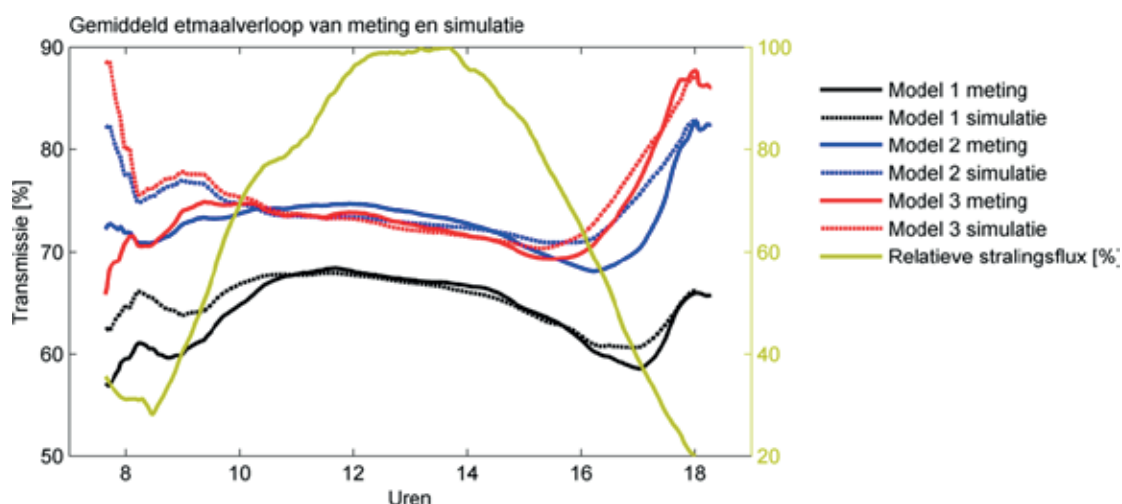
**Figuur 32** Gemeten en berekende transmissie tijdens momenten met neerslag. De match is relatief slecht, gemiddeld ligt de gemeten waarde 5% onder de berekende waarden.

### 5.1.4 Stralingsom

De transmissie als stralingsom is vaak een betere indicatie voor de prestaties van een kas (en daarmee voor het simulatiemodel) dan alleen de transmissiefactor. Om dit inzichtelijk te maken zijn de gemeten en berekende transmissie gewogen naar de gemeten straling.



In de onderstaande figuur is het gemiddeld etmaalverloop over de gehele meetperiode weergegeven. Het verschil tussen meting en berekening is midden op de dag relatief klein en loopt op naar de randen van de dag. Omdat het gemiddeld verloop van de lichtintensiteit juist omgekeerd verloopt (meeste licht midden op de dag) zal het verschil op basis van lichtsom kleiner zijn dan op basis van transmissiefactor.



**Figuur 33** Gemeten en berekende gemiddeld etmaalverloop van de transmissie tijdens alle dagen en het verloop van de relatieve stralingsflux. Het verschil wordt groter naar de randen van de dag terwijl de gemiddelde stralingsintensiteit juist kleiner wordt naar de randen van de dag.

In tabel 2 is het verschil in etmaalsom naast het verschil in transmissie weergegeven. Het blijkt dat op basis van de lichtsom de verschillen tussen meting en berekening ca. de helft zijn dan die op basis van de transmissiefactor. Dit is wenselijk omdat de lichtsom vaak een betere maat voor de prestatie van een kasdek is dan puur de transmissiefactor immers in de winter gaat het voor de plant om de totale lichtsom die bepalend is voor de fotosynthesecapaciteit.

**Tabel 2**

Verskil tussen berekende en gemeten transmissie versus lichtsom. Omdat de straling naar de randen van de dag afneemt telt de afwijking in transmissie daar minder zwaar mee.

	Verskil transmissie [%]	Verskil lichtsom [%]
Model 1	1.5	-0.8
Model 2	1.7	-0.6
Model 3	1.69	-0.7

## 6 Conclusies

Uit de resultaten kunnen een aantal conclusies getrokken worden ten aanzien van de betrouwbaarheid van het simulatiemodel zoals deze in het project "Verbetering lichtinval winter" is gebruikt.

### Validatie simulatiemodel

Ten aanzien van de vergelijking tussen metingen en berekeningen is het volgende geconstateerd.

- Condensatie en neerslag hebben een grote invloed op de gemeten transmissie. Het model mag daarom alleen vergeleken worden met de metingen in gegarandeerde droge toestand. Wanneer de schaalmodellen droog waren is niet met zekerheid vast te stellen.
- Gezien de mogelijke storingen die van invloed zijn geweest op de metingen is er gemiddeld gezien een goede match tussen meting en berekening.
- De match tussen meting en berekening is het beste voor het schaalmodel met helder glas.
- De match tussen de meetwaarden en het model is overdag beter dan aan de randen van de dag.
- De (mate van) lichtverstrooiing (haze) van het diffuse glas heeft een significante invloed op de berekening.
- De hemisferische transmissie is in het geval van simulatie per definitie constant. De metingen laten echter een spreiding tot ca. 5% zien in transmissie tijdens volledig bewolkte momenten. Dit betekent dat de Lambertiaanse verdeling van een diffuse hemel zoals die in het simulatiemodel is gemodelleerd niet altijd overeenkomt met wat de diffuse stralingsmeter als volledig diffuus interpreteert (geen directe component).
- De spectrale transmissie en reflectie van de materialen is gemeten tussen 350 en 1000 nm terwijl de gevoeligheid van de detector tot 1125 nm loopt. Dit heeft naar verwachting een beperkte invloed op de match tussen meting en berekening.
- De gevoeligheid van de detector voor de hoek van inval heeft een invloed op de gemeten transmissie. Deze gevoeligheid is zo goed mogelijk bepaald maar een effect op de match tussen meting en berekening is niet uit te sluiten.

Als algemene conclusie geldt dat het model geen onverklaarbare verschillen laat zien ten opzichte van de metingen. Metingen waarbij de kans op verstoringen minimaal is laten een goede match zien met de berekeningen. Wel is duidelijk geworden dat de transmissie bij bewolkt weer geen (nagenoeg) constante factor is maar relatief veel variatie vertoont. Dit komt waarschijnlijk omdat de lichtverdeling in de hemel minder homogeen (Lambertiaans) is dan in de berekeningen wordt aangenomen. Gemiddeld gezien komt de gemeten hemisferische transmissie wel goed overeen met de berekende waarde. Daar komt bij dat de grootste verschillen in directe transmissie vooral aan de randen van de dag voorkomen, dus vooral momenten met relatief weinig daglicht. Voor veel toepassingen is de (etmaal) lichtsom een meer bepalende factor dan de (momentane) transmissiefactor op zich en juist op lichtsom-niveau is de match tussen meting en model beter dan op transmissie niveau. In de winter als licht de beperkende factor is, gaat het voor de plant om de totale lichtsom die bepalend is voor de fotosynthesecapaciteit.

### Invloed van condensatie en regen

Sinds de introductie van diffuus glas heeft de lichtdoorlatendheid onder "natte" omstandigheden, dus bij condensatie en regen, steeds meer aandacht gekregen van leveranciers en in het onderzoek. De huidige (gestandaardiseerde) labmetingen worden onder droge condities uitgevoerd maar uit onderzoek en ervaringen uit de praktijk is de afgelopen jaren gebleken dat diffuus en/of gecoat glas zich onder natte omstandigheden optisch heel anders kan gedragen dan standaard glas. De lichttransmissie van veel glastypen onder droge omstandigheden blijkt absoluut niet representatief te zijn voor de transmissie tijdens condensatie en/of regen. Vooral onder hoge invalshoeken blijken er grote verschillen tussen droog en nat te zijn.

Onderzoek naar de effecten van condens wordt momenteel in beperkte mate uitgevoerd, maar staat vooralsnog in de kinderschoenen. De (jaarrond) effecten van dubbelzijdig nat glas (bij neerslag) zijn nog niet eerder onderzocht. In een eerder project (Stanghellini, 2010) is alleen de hemisferische transmissie gemeten en bleken de resultaten erg afhankelijk van hoe en hoelang condensatie optreedt. Uit labmetingen aan natte materialen is gebleken dat besproeien en natmaken van materialen niet per definitie hetzelfde oplevert als condensatie aan een koud oppervlak. Tot op heden is er geen eenduidig protocol in combinatie met geschikte apparatuur om een betrouwbare en consistente natte meting uit te voeren. Dit heeft tot gevolg dat de conclusies die op basis van modelberekeningen aan optische eigenschappen (zoals die in het project "Verbetering lichtinval winter" zijn uitgevoerd) vooralsnog uitsluitend gelden voor droge materialen.

### **Betekenis voor het project "Verbetering lichtinval winter"**

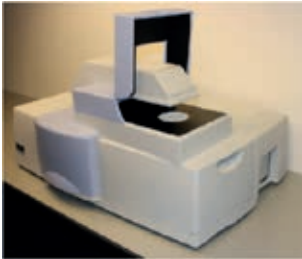
De resultaten van metingen aan schaalmodellen zijn het "overall" effect van verschillende factoren. Dit betekent dat o.a. het netto effect van meer of minder lichtverstrooiing niet gemeten kan worden omdat er praktisch gezien geen materialen zijn met verschillende mate van verstrooiing en gelijke transmissie. Het ontwerp van de schaalmodellen is echter zodanig gekozen dat het netto effect van een zaagtandvorm onderzocht is, iets wat ook gebeurd is in de eerste fase van het project "Verbetering lichtinval winter". In deze fase leek een zaagtand dekvorm een (geringe) lichtwinst op te leveren bij toepassing van helder glas. Bij diffuus glas bleek er echter nauwelijks tot geen sprake van lichtwinst. Door metingen aan de schaalmodellen is het nu veel aannemelijker gemaakt dat dit ook inderdaad zo is en kunnen de keuzes voor de kas in de uiteindelijk te bouwen demo beter ondersteund worden.

## 7 Literatuur

- Swinkels, G.L.A.M., Sonneveld, P.J., G.P.A.Bot,  
Improvement of Greenhouse Insulation with Restricted Transmission Loss through Zigzag Covering Material, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79, No. 1, May 2001, p.91-97.
- 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.
- Sonneveld, P. J.; Swinkels, G. L. A. M.; van Tuijl, B. A. J. 2012a.  
Greenhouse with a CPV System Based on NIR Reflecting Lamellae. *Acta Horticulturae* 927: 43-50.
- Sonneveld, P. J.; Swinkels, G. L. A. M.; van Tuijl, B. A. J. 2012b.  
Up Scaling and Test Results of an Advanced Fresnel Greenhouse. *Acta Horticulturae* 952 Pages: 531-537.
- Sonneveld, P. J.; Swinkels, G. L. A. M.; van Tuijl, B. A. J. 2012c.  
Design of a NIR-Concentrator System Integrated in a Greenhouse. *Acta Horticulturae* 952: 523-529.
- Sonneveld, P. J.; Swinkels, G. L. A. M.; van Tuijl, B. A. J. 2011a.  
A Fresnel Lenses Based Concentrated PV System in a Greenhouse. *Acta Horticulturae* 893: 343-350.
- Sonneveld, P. J.; Swinkels, G. L. A. M.; van Tuijl, B. A. J. 2011b.  
Performance of a concentrated photovoltaic energy system with static linear Fresnel lenses. *Solar Energy* 85 (3): 432-442.
- Sonneveld, Piet; Zahn, Helmut; Swinkels, Gert-Jan 2010.  
A CPV System with Static Linear Fresnel Lenses in a Greenhouse. 6th International Conference on Concentrating Photovoltaic Systems, Freiburg, Germany, April 07-09, 2010. *AIP Conference Proceedings* 1277: 264-267.
- Sonneveld, P. J.; Swinkels, G. L. A. M.; Kempkes, F. 2006.  
Greenhouse with an integrated NIR filter and a solar cooling system. *Acta Horticulturae* 719:123-130.
- Swinkels, G.L.A.M., Sonneveld, P.J., Holterman, H.J. (2010).  
Improvement of light transmittance of greenhouse covering materials using microstructures. Clermont-Ferrad, France
- Gieling, T.H. ; Ruijven, J.P.M. van; Swinkels, G.L.A.M.; Holterman, H.J.; Mohammadkhani, V.; Ruijs, M.N.A.; Rijn, C.J.M. van; Baggerman, J.; Rath, J.K.; Jong, M. de; Schropp, R.E.I. (2013).  
Ultra-energiezuinige kassystemen met Supertransparante Micro-V Gestructureerde materialen: Rapportage in het kader van het EOS-LT programma van Agentschap NL (Openbare versie). Wageningen : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapporten Wageningen UR Glastuinbouw 1277) - p. 100

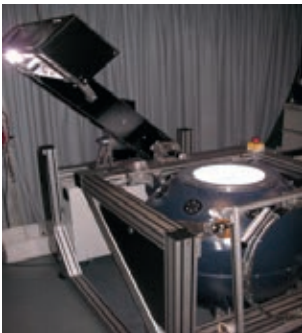


# Bijlage I Meetapparatuur Lichtlab Wageningen UR Glastuinbouw



## **Perkin Elmer LAMBDA 950 UV/VIS/NIR Spectrophotometer**

The LAMBDA 950 is a high precision UV/VIS/NIR System for measuring normal transmittance under  $8^\circ$  in the wavelength range between 300 and 2500 nm. The device is equipped with the UL270 Integrating sphere accessory for measuring diffuse materials. With this device it is possible to measure the solar transmission (300 - 2500 nm), the transmission for UV (300 - 400 nm), FR (700 - 800 nm) and NIR (800 - 2500 nm).



## **Transvision**

The Transvision system consists of a large integrating sphere with an internal diameter of 1 m, an CCD array spectrometer, a Xenon light source and is designed according to ISO 13468. The device meets the specifications of the measurement protocol developed by TNO and Wageningen UR (Ruigrok, 2008) (Swinkels, 2012). The device measures angular and hemispherical transmittance, as well as spectral Haze ( $1.5^\circ$ ) in the range of 350 - 2000 nm for clear and diffuse samples. The device is specially developed for measuring thick and multi-layer materials and large materials which cannot be cut like tempered or structured glass panes.



## **IS-SA™**

The IS-SA (Imaging Sphere for Scatter and Appearance Measurement) measures the scatter distribution functions for diffuse materials. From the measured BSDF data the Haze and F-scatter can be calculated. Also the data can be used for computer modelling and rendering.











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](http://www.wageningenur.nl/glastuinbouw)

Glastuinbouw Rapport GTB-1364

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.