

# **Optimale verlichting van melkveestallen**

## **Bijlage 4: Simulaties**

G.L.A.M. Swinkels

© 2010 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Alle intellectuele eigendomsrechten en auteursrechten op de inhoud van dit document behoren uitsluitend toe aan de Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). Elke openbaarmaking, reproductie, verspreiding en/of ongeoorloofd gebruik van de informatie beschreven in dit document is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Wageningen UR Glastuinbouw

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

### **Wageningen UR Glastuinbouw**

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

## Inhoud

1	Inleiding	4
2	Metingen gevelschermen	5
2.1	Methode	5
2.2	Resultaten	5
3	Methode	7
3.1	Model	7
3.2	Lichtuitstoot	7
3.3	Stalmodellen	9
3.3.1	Algemeen	9
3.3.2	Zadeldakstal	10
3.3.3	Serrestal	12
3.4	Lampmodellen	13
4	Simulaties	16
4.1	Afscherming gevel	16
4.1.1	Invloed van vogelgaas	16
4.1.2	Gevelschermen	16
4.2	Positie lampen	18
4.2.1	Zadeldakstal	18
4.2.2	Serrestal	20
4.3	Mogelijke oplossingen	22
4.3.1	Verlagen reflectie van interieur	22
4.3.2	Voorkomen directe belichting gevel	22
4.3.3	Horizontale of verticale Lamellen	24
5	Terugkoppeling metingen	28
6	Conclusies	30

# 1 Inleiding

In dit rapport wordt de reductie van de lichtuitstoot van melkveestallen bepaald in relatie tot de positie van de lichtbronnen, de mate van gevelafscherming en het type afscherming en worden praktische handvatten opgeleverd om de lichtuitstoot te minimaliseren.

De berekening van de lichtuitstoot gebeurt met een ray-tracing model. Met dit model wordt de lichtuitstoot van een melkveestal gesimuleerd en worden de effecten, relatief ten opzichte van de referentie, van de positie van de lichtbronnen en afscherming van ventilatieopeningen inzichtelijk gemaakt.

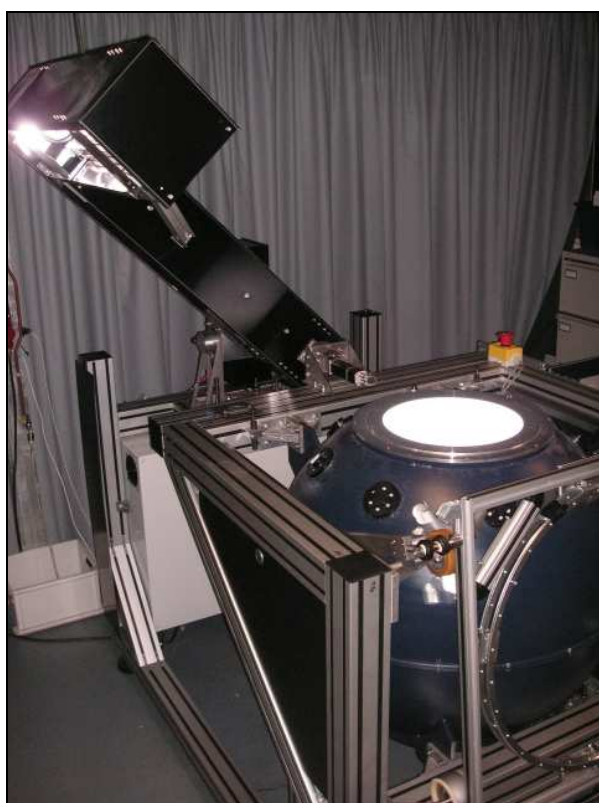
Inputs voor het model zijn de lichtverdeling van de diverse lampen en de lichttransmissiewaarden van de diverse schermmaterialen. Daarnaast moeten de relevante optische eigenschappen van een aantal stalonderdelen (reflectiewaarde van vloer, plafond, muren etc.) bekend zijn.

Van 2 typen melkveestallen (zadeldak, serre) is een referentie bepaald, inclusief het lamptype, aantal lampen en de positie van de lampen.

## 2 Metingen gevelschermen

### 2.1 Methode

Van verschillende typen gevelschermen is de invalshoekafhankelijke Lichttransmissie bepaald. Deze worden door het simulatiemodel als input gebruikt. De metingen zijn uitgevoerd met de door Wageningen UR Glastuinbouw ontwikkelde Transvision apparatuur welke gebruik maakt van een integrerende bol en draaibare lichtbundel (zie onder). Met deze apparatuur kan vooralsnog het golflengtegebied van 300-1000 nm onderzocht worden. De gemeten transmissie wordt spectraal gemiddeld volgens de norm EN 410 (Determination of luminous and solar characteristics of glazing) en over een golflengtebereik van 380 – 780 nm (zichtbaar licht).



*Fig 1. Transvision apparatuur voor het meten van de optische eigenschappen van transparante materialen en specifiek kasdek- en schermmaterialen.*

### 2.2 Resultaten

In het simulatiemodel worden de doeken als diffuus reflecterend en diffuus verstrooiend gezien waarbij geen licht geabsorbeerd wordt. Dit houdt in dat een lichtstraal die op het doek valt voor een deel doorgelaten wordt en in alle richtingen verstrooid wordt. De fractie doorgelaten licht is hoekafhankelijk en is met de Transvision apparatuur gemeten. Het gereflecteerde deel wordt tevens in alle richtingen gereflecteerd. Omdat door het model alleen relatieve lichtuitstoot berekend wordt heeft het ontbreken van een bepaalde lichtabsorptie van het scherm geen relevante invloed.

Van 2 typen vogelgaas, een lichtplaat en 2 typen gevelschem is de transmissie voor verschillende hoeken van inval gemeten. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande figuur.

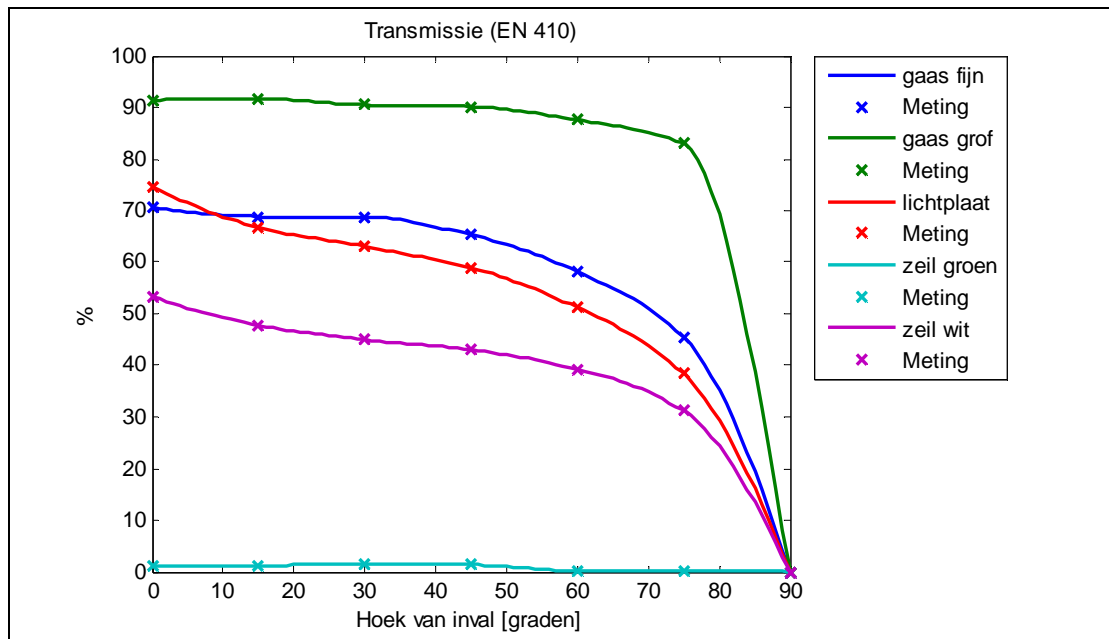


Fig 2. Hoekafhankelijke transmissie van diverse afschermingsmaterialen

De berekeningen die met het simulatiemodel uitgevoerd zijn, zijn niet spectraal selectief. Dit betekent dat aangenomen is dat de kleur van het uitgestoten licht gelijk is aan de kleur van het lamplicht. In onderstaande figuur is voor een aantal hoeken van inval de spectrale lichttransmissie van wit zeil (gevelschem) weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de transmissie redelijk spectraalneutraal is.

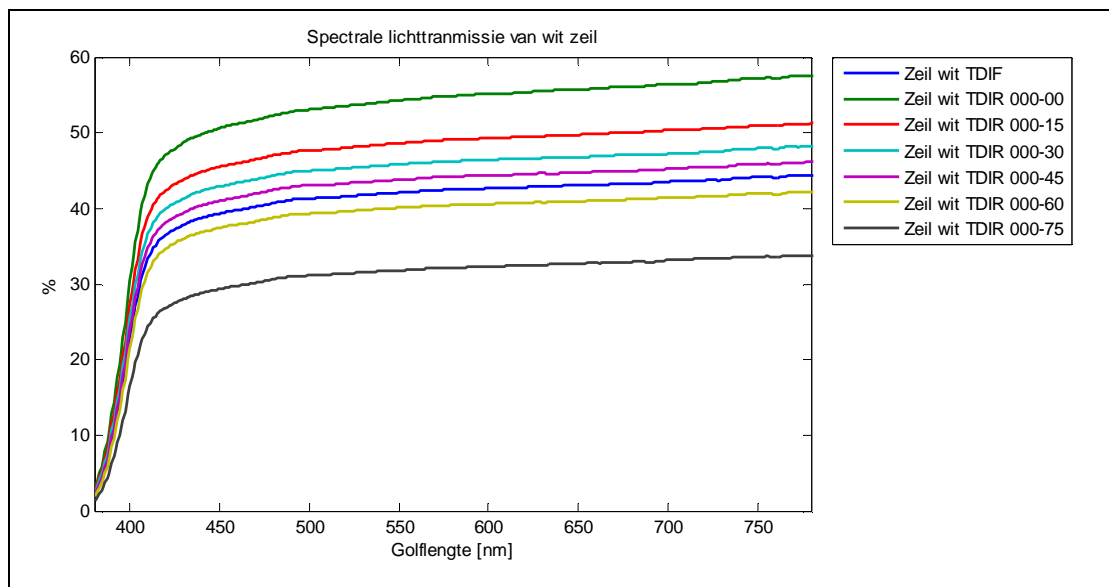


Fig 3. Spectrale transmissie van wit zeil

## 3 Methode

### 3.1 Model

De simulaties zijn uitgevoerd met het model Raypro, een door Wageningen UR Glastuinbouw ontwikkeld ray-tracing model. Ray-tracing is een methode waarmee het gedrag van afzonderlijke lichtstralen door een 3D omgeving gevolgd kunnen worden. De geometrie van een 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. 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, uitpuddend door het object heen gevolgd totdat de intensiteit onder een drempelwaarde komt de lichtstraal als reflectie, transmissie of absorptie geïnterpreteerd kan worden. De ray-tracing methode is dus een zeer realistische nabootsing van de werkelijkheid.

Met Raypro kan de lichtuitstoot van een melkveestal bepaald worden door vanuit de lichtbronnen in de stal een groot aantal lichtstralen af te schieten volgens de lichtverdeling van de betreffende lichtbronnen. De lichtstralen worden door het stalinterieur en constructieonderdelen (muren, vloer, spanten) gereflecteerd waarna deze uiteindelijk uittreden. Door een object te modelleren dat de waarnemer representeert en de lichtstralen (en hun intensiteit) die dit object raken te tellen kan de verhouding tussen de intensiteit op de waarnemer en de totale afgeschoten intensiteit gezien worden als de lichtuitstoot.

In onderstaande figuur zijn voor een zadeldakstal de lichtstralen afgebeeld die de waarnemer (een ring rondom de stal) raken.

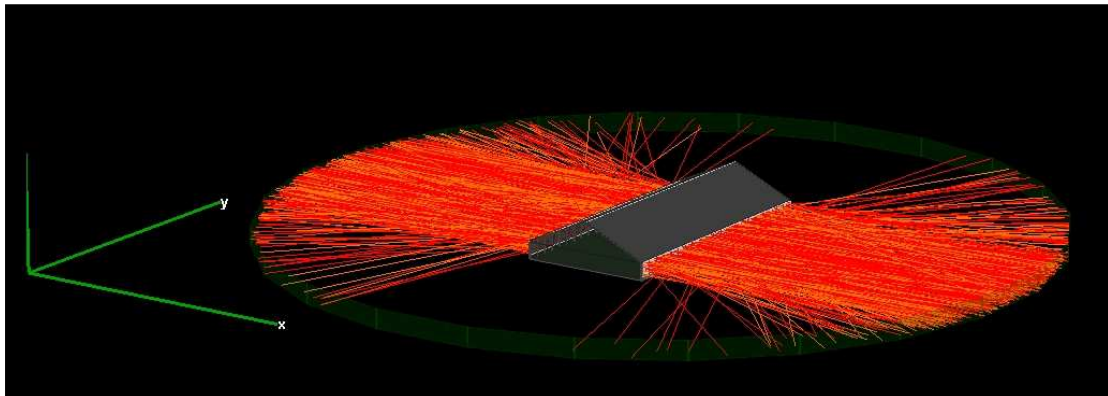


Fig 4. Output van het ray-tracing proces: de zadeldakstal met daarin de lichtstralen die de omgeving (een ring rondom de stal) raken en daarmee de zichtbare uitstoot vormen.

### 3.2 Lichtuitstoot

Lichtuitstoot uit een melkveestal wordt veroorzaakt door alle open en transparante onderdelen van de stal en licht kan in principe in alle richtingen uitgestoten worden. Om lichtuitstoot als hinder te ervaren moet het licht 'gezien' worden door de waarnemer. Uitgangspunt bij de simulaties is een waarnemer in het open veld. Met voldoende afstand tot de stal kan de waarnemer alleen het horizontaal uitgestoten directe licht zien en in

principe ook de luminantie van de hemel. De luminantie van de hemel is de door de atmosfeer gereflecteerde verticale uitstoot (helderheid van de lichtkegel). Vergeleken met de horizontale uitstoot blijkt de luminantie van de hemel te verwaarlozen. Dit werd duidelijk bij de bedrijfsbezoeken en bleek ook uit de metingen van TNO. Tussen de luminantie van de hemel kon geen verschil worden gemeten tussen een referentiemeting (weiland) en boven de stal. Als gevolg hiervan beperken de berekeningen in dit rapport zich tot de horizontale uitstoot.

Het licht in de stal wordt gegenereerd door de lampen en wordt vervolgens door het stalinterieur meervoudig gereflecteerd waardoor een grote mate van diffusiteit ontstaat. Het licht in de stal wordt naar buiten toe uitgestoten door open en transparante gedeeltes in de buitenkant van de stal, deze bestaan uit:

- De lange zijgevels (bij geopend scherm vrijwel helemaal open).
- Transparante of open gedeeltes van de kopgevels (raam, deur).
- Transparante of open gedeeltes van het dak (lichtstraat, lichtplaten, open nok)

Het uitgestoten licht is verder op te splitsten in:

- Direct lamplicht in het geval dat de lampen vanuit de omgeving rechtstreeks zichtbaar zijn. Dit is licht met een relatief hoge intensiteit.
- Indirect lamplicht dat ontstaat wanneer direct lamplicht door het stalinterieur deels diffuus en deels direct gereflecteerd wordt waarbij de intensiteit afhangt van de reflectiewaarde van het interieur.
- Direct en indirect lamplicht dat door een transparant gevelscherm diffuus verstrooid wordt.

Daarnaast is er uitstoot binnen en buiten het gezichtsveld. Uitgestoten licht dat buiten het gezichtsveld valt kan via reflectie van bijvoorbeeld de bodem, naastliggende bebouwing, bewolking of nevel toch indirect zichtbaar zijn. De effecten hiervan zijn klein ten opzichte van het direct uitgestoten licht en zijn derhalve niet meegenomen in de simulaties.

De uitstoot is afhankelijk van de positie van de waarnemer. Voor de simulaties is de waarnemer gemodelleerd als een 5 m hoge ring op 100 m afstand van het middelpunt van de stal, verdeeld in 36 segmenten van 17.6 m breed die elk 10° van de omliggende ring bestrijken. Op deze manier kan bepaald worden in welk segment de uitstoot maximaal is zodat de resultaten altijd betrekking hebben op de maximale uitstoot die op een bepaalde plaats rondom de stal voorkomt, vanaf nu de maximale uitstoot genoemd. De gemiddelde uitstoot is het gemiddelde van de 36 segmenten en zegt iets over de gemiddelde uitstoot over 360°. In onderstaande figuur is de waarnemer als ring rondom het middelpunt de stal.



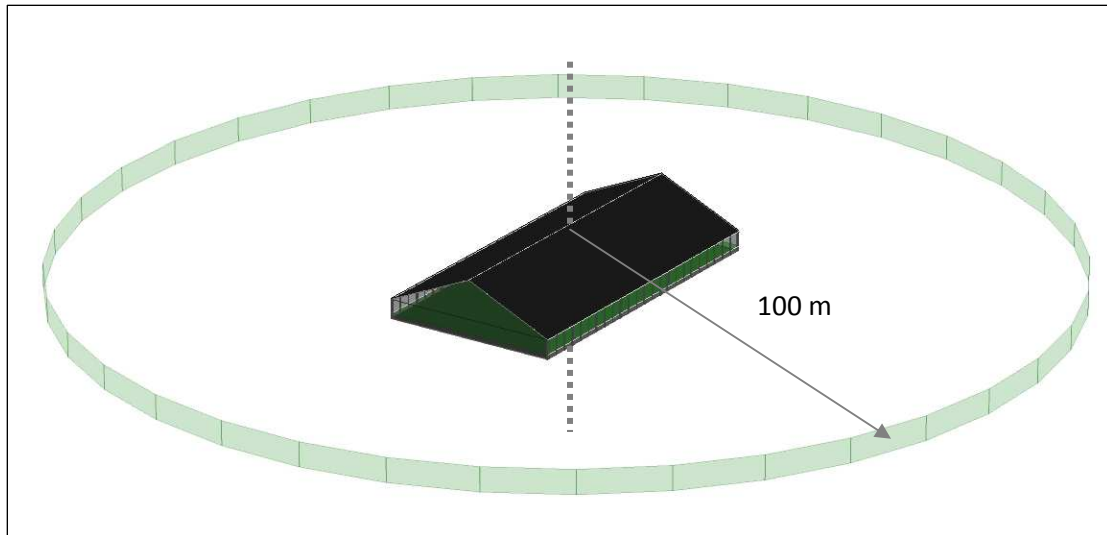


Fig 5. Waarnemer gemodelleerd als een 5 m hoge ring op 100 m afstand van het middelpunt van de stal, verdeeld in 36 segmenten van 17.6 m.

Verder gelden de volgende uitgangspunten:

- De lichtuitstoot wordt berekend relatief ten opzichte van de totale lichtinput door de lampen. Deze lichtuitstoot wordt dan vergeleken met de lichtuitstoot van de referentiestal.
- De kwantitatieve lichtuitstoot wordt niet meegenomen in dit onderzoek, m.a.w. de hoeveelheid uitgestoten licht wordt niet uitgedrukt in lumens of candela's.
- De lichtstoot wordt niet spectraal bepaald, d.w.z. de lichtkleur van het uitgestoten licht is gelijk aan de lichtkleur van de lampen.
- Lichthinder is de overlast die mensen en dieren van lichtuitstoot ondervinden. Dit is afhankelijk van persoonsgebonden factoren en wordt vaak door middel van enquêtes bepaald. Om deze reden wordt lichthinder niet meegenomen in dit onderzoek.
- Voor de praktische handvatten om de lichtuitstoot te beperken geldt dat het lichtniveau op de werkvloer niet substantieel lager mag zijn dan in de referentiesituatie.

### 3.3 Stalmodellen

#### 3.3.1 Algemeen

Van 2 type melkveestallen zijn eenvoudige 3D-modellen gemaakt: de zadeldakstal en de serrestal. De modellen zijn representatief voor het betreffende type en zijn gemaakt met het oog op de optische eigenschappen en lichtuitstoot wat betekent dat de mate van detail beperkt is. Veel constructie-elementen zijn diffuus reflecterend waarbij een bepaalde reflectie is gehanteerd.

#### Erf

Het erf is gemodelleerd als 100% absorberend waardoor het erf voor de waarnemer niet zichtbaar is. De praktijksituatie waarbij het stallicht via oppervlaktewater naar de waarnemer reflecteert wordt, wordt derhalve niet meegenomen.

### **Vogelgaas**

Beide type stallen zijn standaard voorzien van vogelgaas met de kleine mazen (gaas fijn).

### **Stalvloer**

De reflectiewaarde van de stalvloer in een zadeldak- en serrestal is melkveestal is van beton en grotendeels bedekt met mest en stro. Aangenomen wordt dat de reflectiewaarde 10% is en 100% diffuus is.

### **Stalinterieur**

Onder het stalinterieur vallen de ligboxen, melkvee en overige installatie- en constructiedelen. Het interieur is in de praktijk zichtbaar bij een open gevel en draagt in belangrijke mate bij aan de lichtuitstoot. Bij de serrestal zijn van de constructieonderdelen de staanders en de tralieliggers gemodelleerd. Van het overige interieur is een schatting gemaakt van de transmissie (80%), reflectie (10%) en absorptie (10%) als totaal. Het interieur is gemodelleerd als een plat vlak op 1 m hoogte boven de vloer en met bovengenoemde waarden. De reflectie is 100% diffuus.

## **3.3.2 Zadeldakstal**

De referentie ligboxenstal met zadeldak is een moderne hoge stal gebaseerd op stal 2 (van de 4 voorbeeldstallen die in dit project gebruikt zijn).. De zijgevels bestaan uit een lage betonnen muur met daarboven vogelgaas tot aan de goot. De gevel wordt afgeschermd worden met een beweegbaar zeil met een regelbereik tussen 0 en 100%.

Hoewel praktijkstallen vaak een geventileerde nok en/of een aantal lichtplaten in het dak hebben is uit praktijkbezoeken gebleken dat de invloed hiervan op de horizontale lichtuitstoot klein is ten opzichte van de uitstoot door de open gevels. Om deze reden heeft de referentie zadeldakstal een 100% licht- en luchtdicht dak. Van moderne stallen is het dak aan binnenkant bekleed met lichtkleurige sandwichpanelen. Voor de totale diffuse reflectiewaarde van deze panelen, gecombineerd met de constructieonderdelen (dakspanten e.d.) is een totale diffuse reflectiewaarde van 0.5 voor de binnenkant van het dak aangenomen.

De kopgevels zijn in de praktijk altijd voorzien van toegangsdeuren en vaak ook ramen. Omdat het effect hiervan op de lichtuitstoot klein is ten opzichte van de uitstoot door de zijgevels zijn voor de referentiestal dichte kopgevels genomen. Daarnaast is het verduisteren van de kopgevels relatief eenvoudig en zal hiervan geen grote invloed op de ventilatiecapaciteit uitgaan.

Aan de spanten en vrij dicht tegen de buitengevels hangen 2 rijen met elk 6 armaturen voorzien van hogedruk natriumlampen.

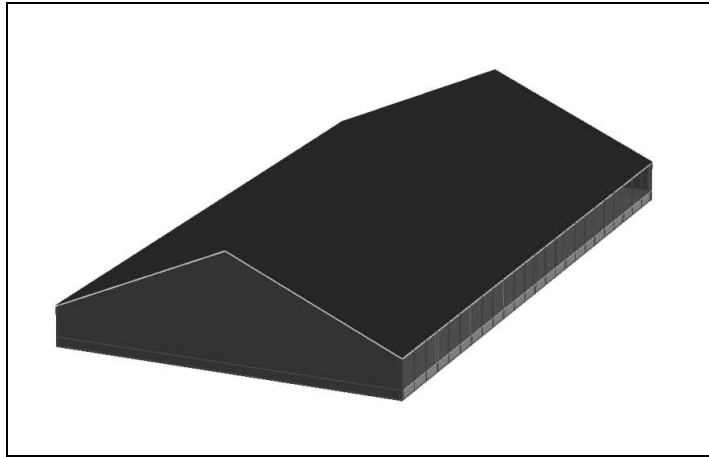


Fig 6. 3D-model van de referentie zadeldakstal

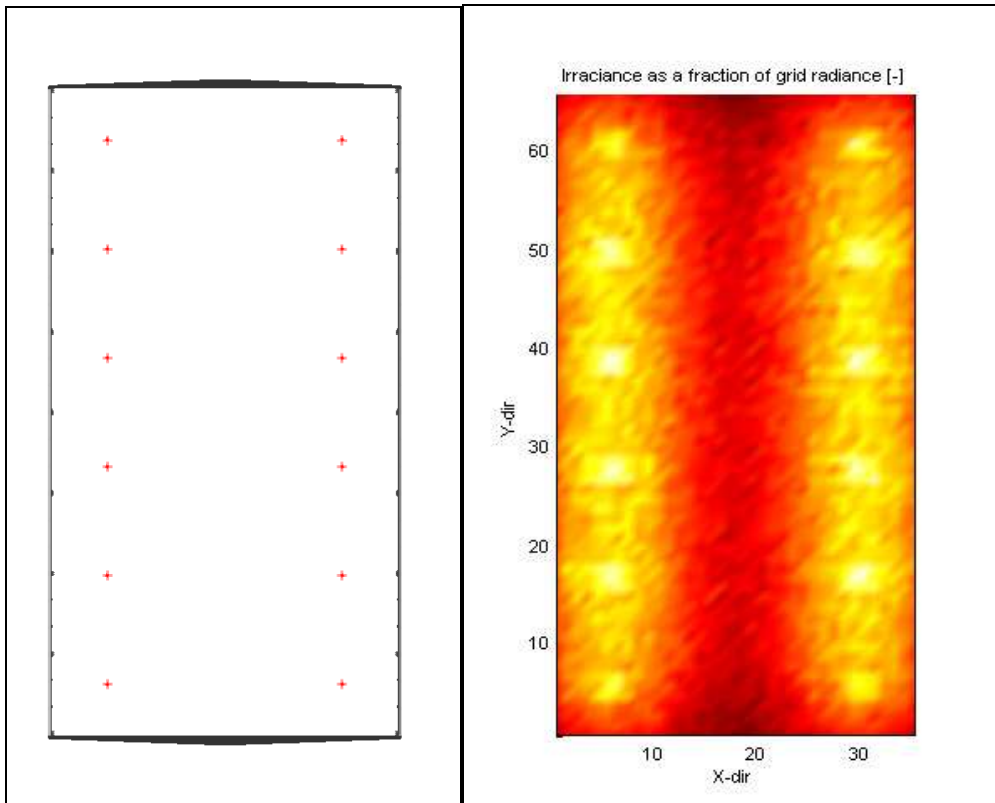


Fig 7. Positionering van de armaturen en resulterende lichtverdeling

Tabel 1. Karakteristieken van de zadeldakstal

<i>Parameter</i>	<i>Waarde</i>
Lengte	66 m
Breedte	36 m
Goothoogte	4 m
Nokhoogte	12 m
Muur lange gevel: hoogte	1 m
Muur lange gevel: diffuse reflectie	0
Reflectie Plafond	50% diffuus
Spanten: aantal	9
Spanten: reflectie	50% diffuus
Spanten: afmeting	25 × 40 cm
Roeden: aantal	2 × tussen elke spant
Roeden: reflectie	50% diffuus
Roeden: afmeting	8 × 12 cm

### 3.3.3 Serrestal

De referentie serrestal is een moderne stal gebaseerd op een combinatie van de serrestallen 3 en 4 (van de 4 voorbeeldstallen die in dit project gebruikt zijn). De onderbouw is afkomstig uit de kassenbouw waarbij het dek vervangen is door gebogen roeden boog bedekt met 2 lagen zeil. De stal heeft 4 kappen (bogen) en wordt ondersteund door 11 tralieliggers. De zijgevels bestaan uit een lage betonnen muur met daarboven vogelgaas tot aan de goot.

De kopgevels zijn bij het ene bezochte praktijkbedrijf open, bij het andere bedrijf lichtdicht (afgezien van toegangsdeuren). Voor de referentiestal zijn dichte de kopgevels genomen.

De lange gevels zijn geheel voorzien van vogelgaas en kunnen van beneden uit dichtgetrokken worden met een scherm. Het dakzeil aan de binnenkant is licht van kleur en voor de totale diffuse reflectiewaarde van dit zeil, gecombineerd met de constructieonderdelen (excl. tralieligger) is een totale diffuse reflectiewaarde van 0.5 aangenomen. Aan de onderkant tegen de tralie zijn in het midden van de kap armaturen met hogedruk natrium lampen opgehangen om en om per vakmaat (zie figuur). Deze zijn in de omgeving direct zichtbaar.





Fig 8. 3D-model van de referentie serrestal

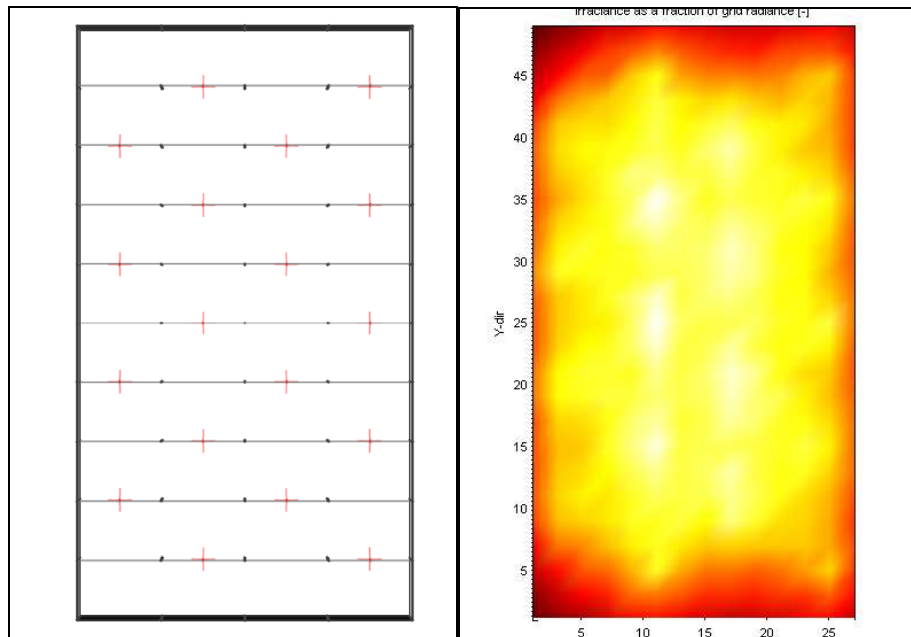


Fig 9. Positionering van de lampen en resulterende lichtverdeling

Tabel 2. Karakteristieken van de serrestal

Parameter	Waarde
Lengte	50 m
Breedte	28 m
Goothoogte	5 m
Muur lange gevel: hoogte	1 m
Muur lange gevel: diffuse reflectie	0
Standers (L x B)	12 x 8 cm
Vakmaat	5 m
Tralieligger hoogte	50 cm
Reflectie Plafond	50% diffuus

### 3.4 Lampmodellen

De lampen zijn in Raypro gemodelleerd als horizontale vlakken, gelijk aan de werkelijke afmetingen van de lampen, van waaruit een groot aantal lichtstralen worden afgeschoten volgens de lichtverdeling die door leverancier Agrilight is aangeleverd als polaire intensiteits

diagram. In onderstaande figuren is een voorbeeld gegeven van een dergelijk diagram en de resulterende lichtstralen in Raypro.

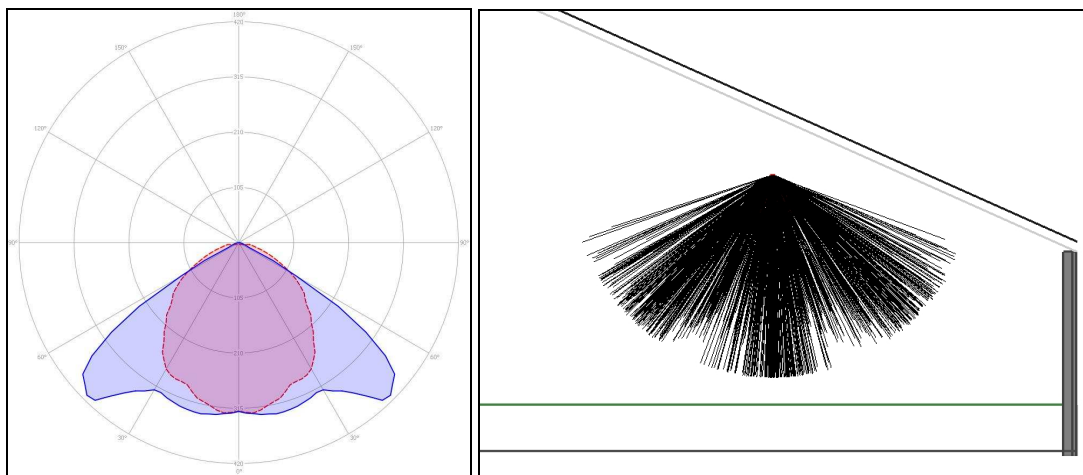


Fig 10. Voorbeeld van een polair intensiteits diagram (links) en de bijbehorende lichtstralen in Raypro.

Door Agrilight zijn van 2 lampen de polaire intensiteits diagrammen aangeleverd:

- Armatuur voor hogedruk lampen (HPS): AL2007 / HPS (hogedruk Natrium) / Metaalhalide / 250 – 400 W
- TL armatuur: Lamp TL-D 1x36 W / 2x58 W



Fig 11. HPS armatuur (links) en TL.

De lichtdistributie wordt in grote mate beïnvloed door de gebruikte armatuur en reflectoren en in mindere mate door de lamp zelf. De hogedrukarmatuur wordt geleverd met zowel een hoge druk Natrium als metaal halide lamp in 100, 150, 250 en 400 Watt. Omdat beide lampen met dezelfde armatuur worden geleverd is de lichtdistributie van beide lampen volgens Agrilight vrijwel identiek. Dit geldt ook voor het TL armatuur. Voor de simulaties betekent dit dat de verschillende lamptypen kunnen worden vertaald naar 2 verschillende armaturen: de HPS en de TL.

Volgens de gegevens van Agrilight geeft de HPS (horizontaal opgehangen) een brede sterk divergerende lichtbundel waarbij relatief veel licht naar de zijkanten gestraald wordt om op de vloer een zoveel mogelijk gelijkmatige lichtverdeling te krijgen.

De TL-armatuur heeft een meer compacte bundel en straalt (horizontaal opgehangen) het meeste licht loodrecht naar beneden. Door de lagere efficiëntie en lager lampvermogen moeten in vergelijking met HPS per m<sup>2</sup> stal meer lampen opgehangen worden.



## 4 Simulaties

### 4.1 Afscherming gevel

#### 4.1.1 Invloed van vogelgaas

Vogelgaas reduceert de lichtuitstoot met minimaal 9% (grof) en 30% (fijn) waarbij de lichtreductie toeneemt met de hoek van inval. Omdat het materiaal niet transparant is maar een open structuur heeft wordt het doorgelaten licht niet verstrooid waardoor vogelgaas altijd voor een reductie van de lichtuitstoot zal zorgen, dit in tegenstelling tot verstrooiende materialen.

Zadeldak: relatieve uitstoot per segment bij niet-geschermdde gevels

	Gemiddeld [%]	Maximaal [%]
Open	100	100
Gaas grof	84.2	90.2
Gaas fijn	61.8	66.2

#### 4.1.2 Gevelschermen

Gevelschermen hebben een bepaalde transmissiefactor en reduceren per definitie de totale hoeveelheid uitgestoten licht. Afhankelijk van het doek wordt echter de richting van het uitgestoten licht beïnvloed. Lichtstralen die bij een open scherm buiten het zichtsveld van de waarnemer terechtkomen (niet zichtbaar zijn) worden bij gesloten scherm verstrooid waardoor een deel van dit verstrooide licht zichtbaar wordt voor de waarnemer. Dit effect neemt toe bij met de lichtverstrooiende waarde van een transparant scherm.

Het sterkst is dit effect bij het directe lamplicht dat door een gevelscherm verstrooid wordt. Bij een open scherm komt dit licht op het erf terecht, buiten het zichtsveld. Bij gesloten scherm wordt een deel van dit licht richting de waarnemer verstrooid en zal de zichtbare uitstoot toenemen.

Ter indicatie is in onderstaande figuur is de hoeveelheid zichtbare uitstoot grafisch weergegeven voor de situatie met open en gesloten scherm.

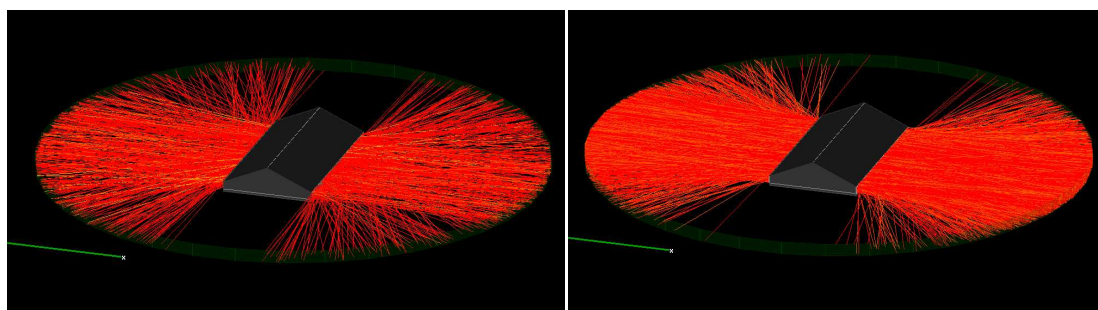


Fig 12. Zichtbare uitstoot bij een open (links) en gesloten gevelscherm

Voor schermstanden tussen 0% (volledig open) en 100% (volledig dicht) is voor beide staltypen de relatieve lichtuitstoot berekend voor zowel het witte als groene doek, beide in combinatie met vogelgaas.



## Zadeldakstal

Beide doeken hebben een tegenovergesteld effect op de uitstoot. Het groene doek is nagenoeg lichtdicht (het model rekent met een 100% lichtdicht doek) en reduceert de lichtuitstoot vrijwel evenredig met de schermstand. Het witte doek daarentegen verhoogt zowel de maximale als gemiddelde lichtuitstoot tot 12x meer maximale uitstoot bij volledig gesloten scherm.

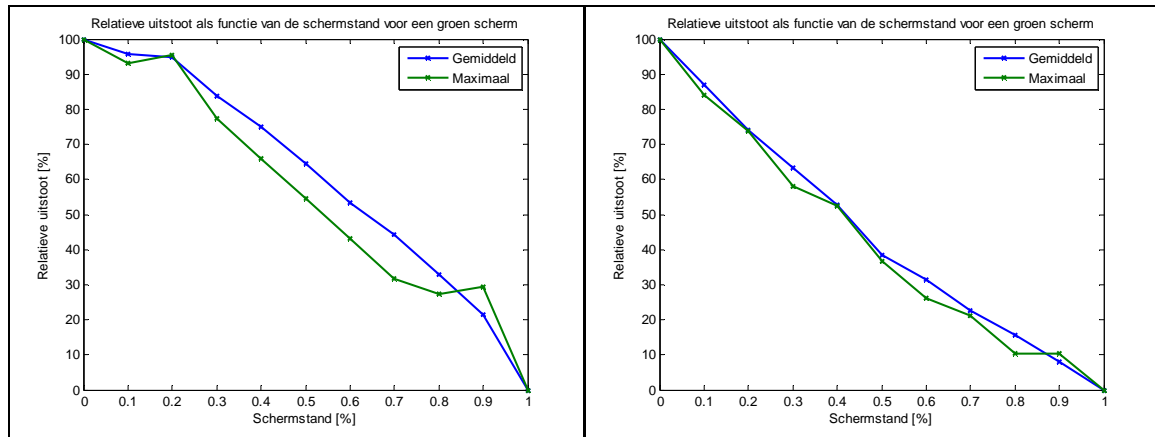


Fig 13. Relatieve maximale en gemiddelde uitstoot van een zadeldakstal met een HPS armatuur (links) en TL (rechts) in relatie tot de schermstand voor een groen lichtdicht doek.

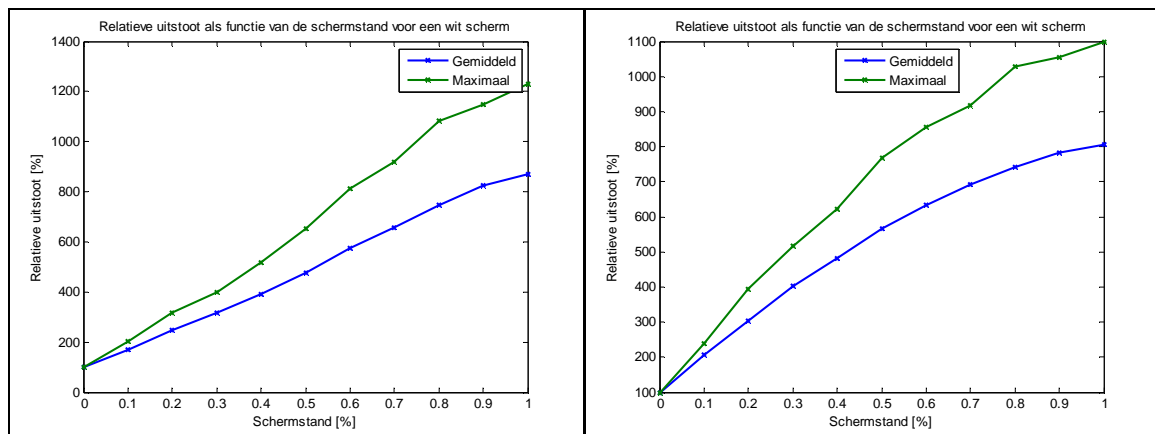


Fig 14. Relatieve maximale en gemiddelde uitstoot van een zadeldakstal met een HPS armatuur (links) en TL (rechts) in relatie tot de schermstand voor een wit transparant doek.

## Serrestal

Zoals bij de zadeldakstal hebben de beide schermen ook bij de serrestal een tegenovergesteld effect op de uitstoot. Echter, bij de serrestal in combinatie met de HPS armatuur zijn lage schermstanden weinig effectief. Dit komt omdat de meeste uitstoot door het directe lamplicht veroorzaakt wordt van de breder stralende HPS armatuur wat bij lage schermstanden niet geblokkeerd: het scherm wordt immers van onderuit dichtgetrokken. Het witte scherm verhoogt zowel de maximale als gemiddelde lichtuitstoot 6 - 9x meer maximale uitstoot bij volledig gesloten scherm. De extra uitstoot ten gevolge van het sluiten van het witte scherm is hier minder groot dan bij de zadeldakstal omdat de lampen bij open scherm in het zicht hangen en veel uitstoot geven.

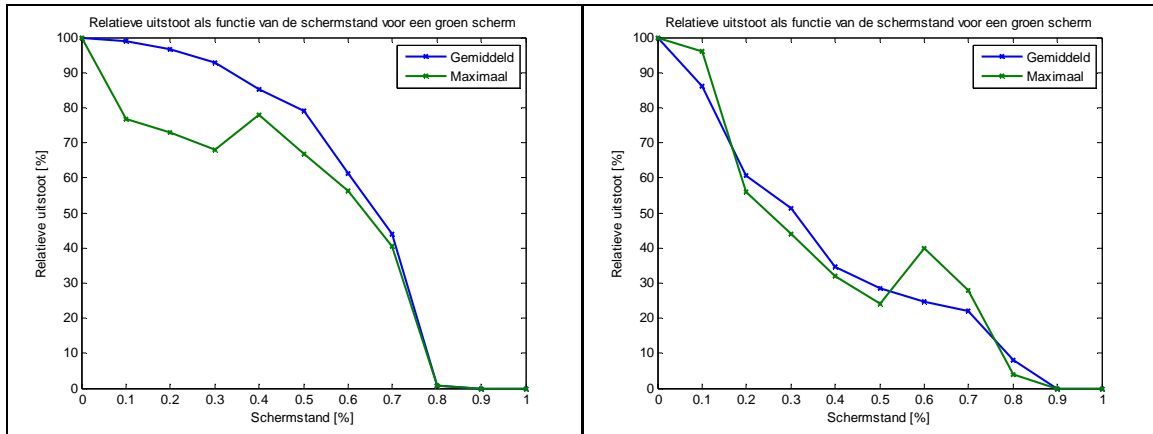


Fig 15. Relatieve maximale en gemiddelde uitstoot van een serrestal met een HPS armatuur (links) en TL (rechts) in relatie tot de schermstand voor een groen lichtdicht doek.

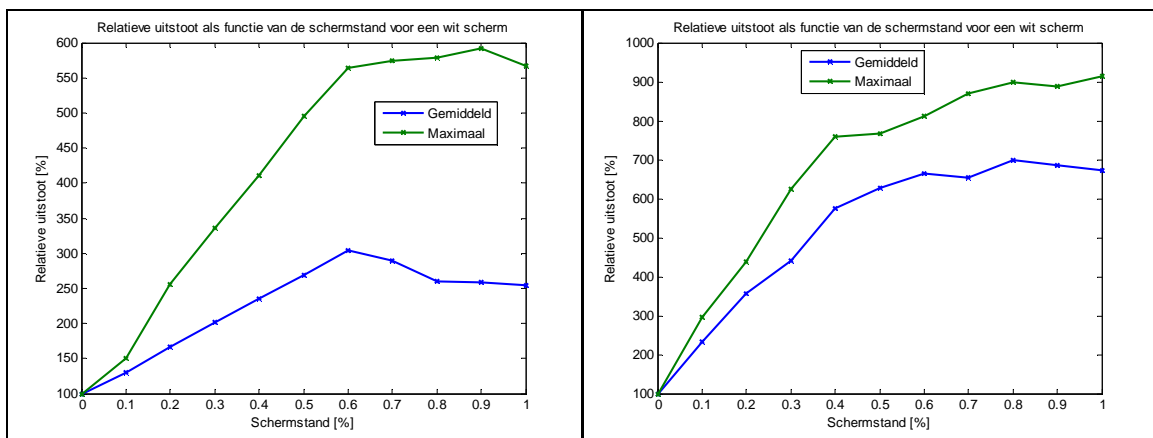


Fig 16. Relatieve maximale en gemiddelde uitstoot van een serrestal met een HPS armatuur (links) en TL (rechts) in relatie tot de schermstand voor een wit transparant doek.

## 4.2 Positie lampen

Voor de belichting van de stal wordt vaak door de leverancier een lichtplan opgesteld voor het lamptype, het aantal lampen en de positie van de lampen. Doel hiervan is een optimaal lichtniveau en optimale lichtverdeling op de werkvloer. In deze paragraaf is de invloed van de verticale positie van de lampen (lamphoogte) op de uitstoot onderzocht.

De lamphoogte is gevarieerd tussen 3 en 7 m. Een hoogte van 7 m is als referentie genomen en komt overeen met plafondhoogte. Bij een hoogte van 3 meter zitten de lampen ruim onder de goot en zijn door de omgeving zichtbaar.

### 4.2.1 Zadeldakstal

In deze paragraaf is de relatie tussen lichtuitstoot en de lamphoogte weergegeven voor de zadeldak en de HPS en TL armaturen.

#### HPS armatuur

In onderstaande figuren is de relatie tussen uitstoot en lamphoogte weergegeven. Uit de figuren blijkt dat bij een open scherm direct zicht op de HPS de maximale uitstoot verdubbelt. De lampen moeten hier zo hoog mogelijk worden opgehangen. Bij een dicht scherm is het schermoppervlak dat direct lamplicht ontvangt een belangrijke factor en blijkt

dat de lampen zo laag mogelijk moeten worden ophangen. Gezien de lichtverdeling op de werkvloer lijkt dit echter geen praktische oplossing en zullen andere mogelijkheden onderzocht moeten worden om direct licht op het scherm te voorkomen.

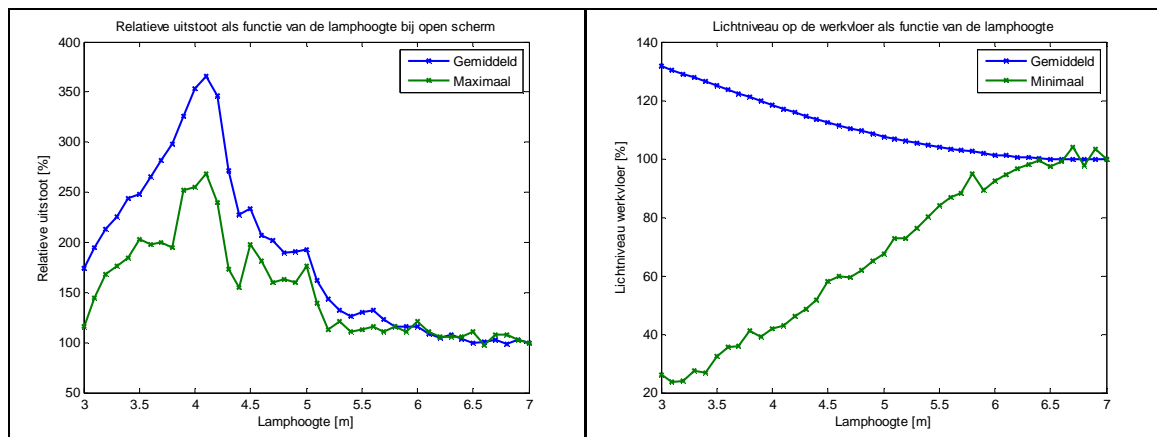


Fig 17. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij open scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

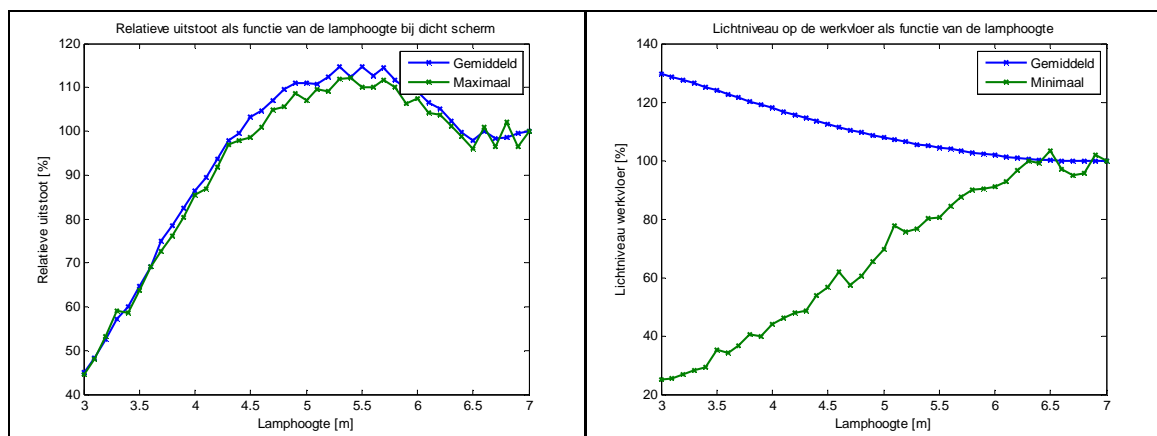


Fig 18. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij gesloten scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

### TL-armatuur

De TL-armatuur straalt veel minder breed uit dan de HPS en zal bij een hogere positie meer schermoppervlak belicht worden. Hierdoor neemt de uitstoot redelijk lineair toe met de hoogte van de lampen.

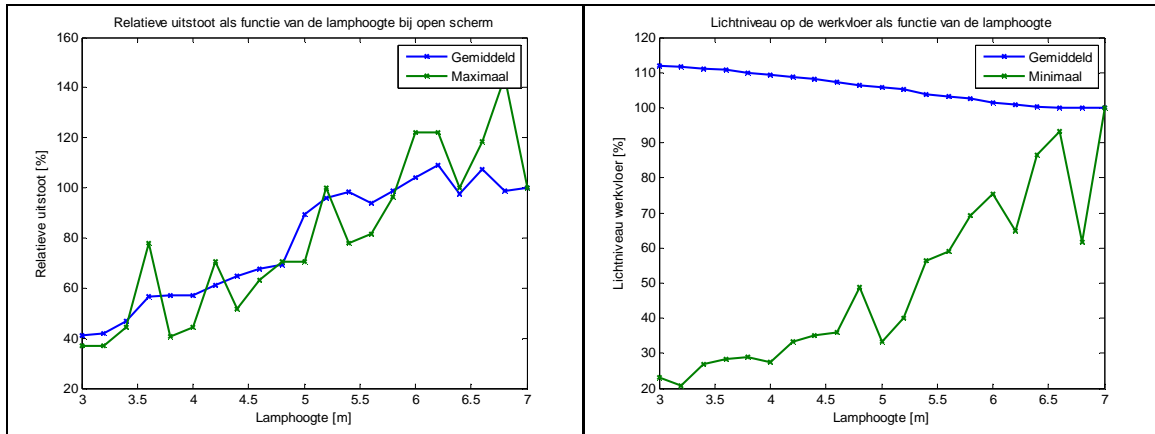


Fig 19. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij open scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

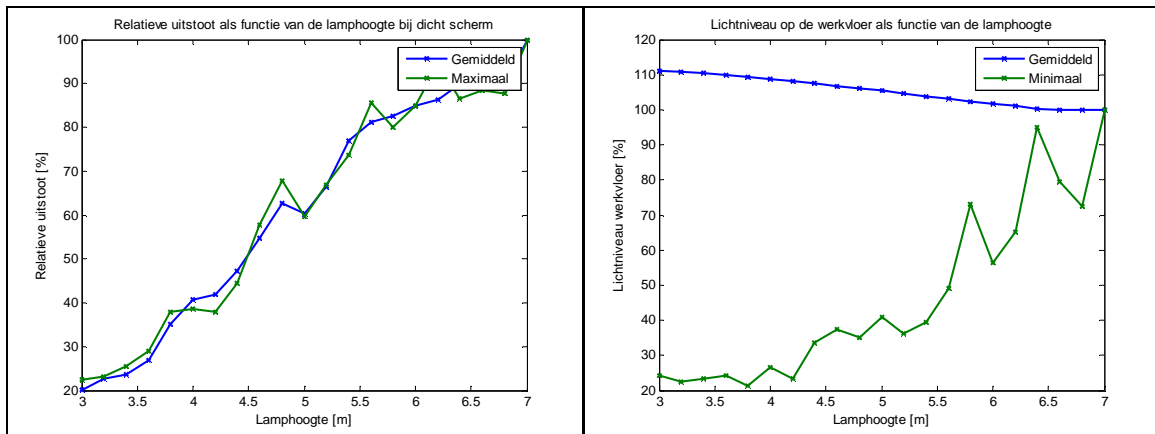


Fig 20. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij gesloten scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

Voor beide lamptypen geldt dat de lamphoogte een directe invloed heeft op het lichtniveau op de werkvloer. Hoe lager de lamp hangt hoe meer licht de vloer als totaal bereikt maar hoe slechter de verdeling. Om dit probleem op te lossen zullen er bij het verlagen van de lamphoogte meer lampen van minder vermogen opgehangen moeten worden.

## 4.2.2 Serrestal

In deze paragraaf is de relatie tussen lichtuitstoot en de lamphoogte weergegeven voor de serrestal in combinatie met de HPS en TL armaturen.

### HPS armatuur

Voor de HPS geldt eenzelfde trend als bij de zadeldakstal: bij een open scherm verdubbelt direct zicht op de HPS de maximale uitstoot. De lampen moeten ook hier zo hoog mogelijk worden opgehangen. Bij een dicht scherm is de uitstoot maximaal wanneer de lampen net hoog genoeg hangen om uit het zicht te hangen. Waarschijnlijk is de verstrooiende werking van de tralie hier debet aan.

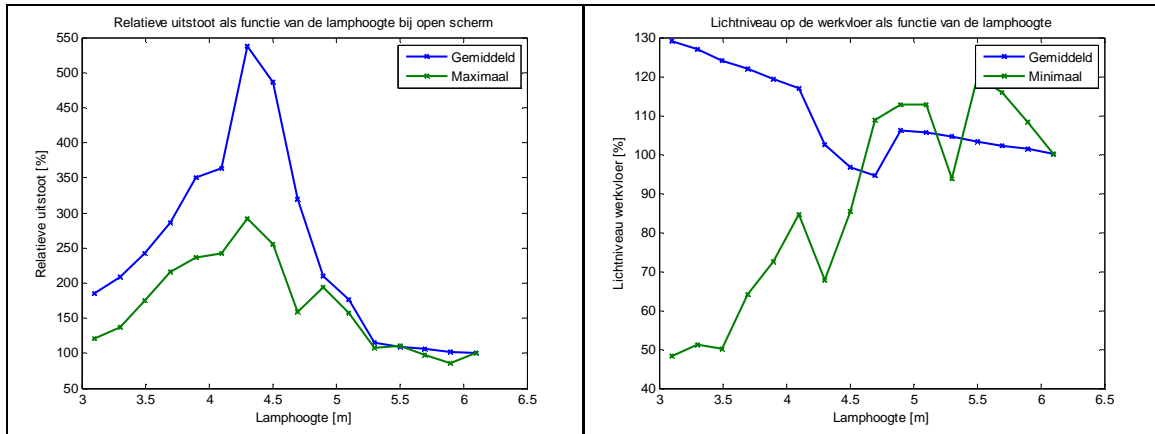


Fig 21. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij open scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

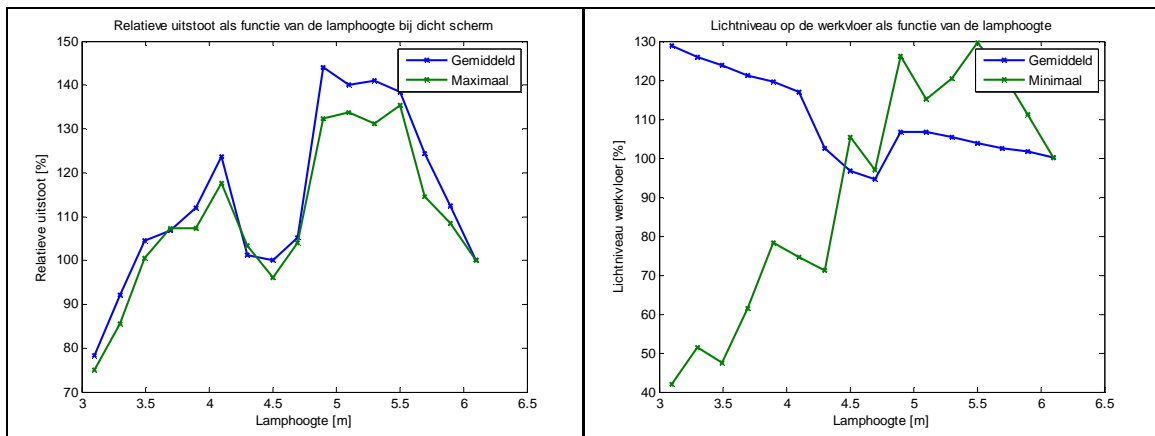


Fig 22. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij gesloten scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

### TL-armatuur

De trend bij de TL-armatuur is gelijk aan die van de zadeldakstal met het verschil dat bij open scherm een piek in de gemiddelde uitstoot optreedt. Waarschijnlijk is de lichtverstrooiing door de tralieligger hier de oorzaak van.

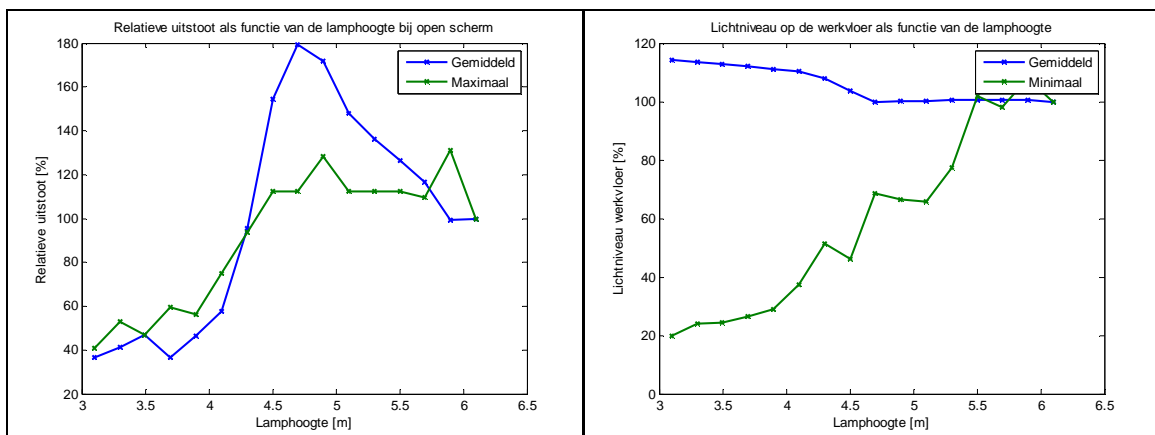


Fig 23. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij open scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

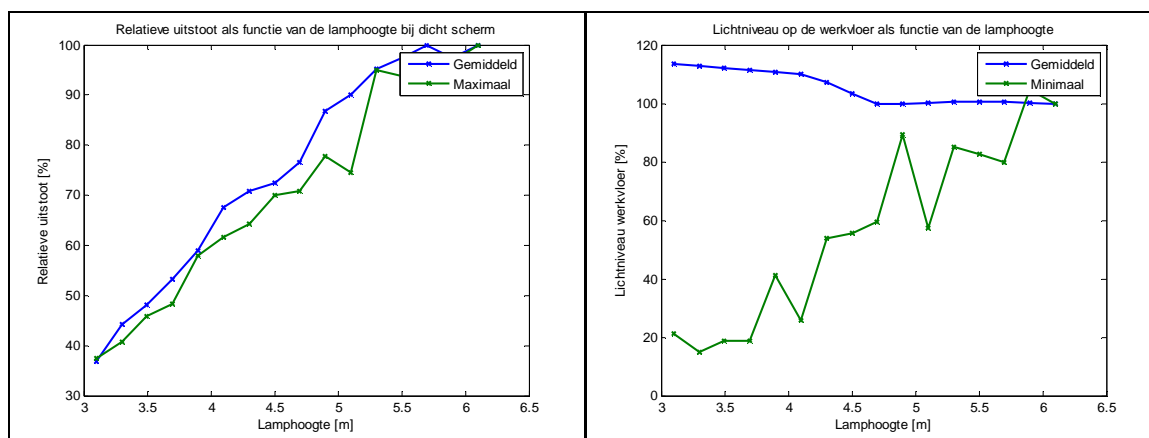


Fig 24. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij gesloten scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

## 4.3 Mogelijke oplossingen

### 4.3.1 Verlagen reflectie van interieur

Een deel van de lichtuitstoot wordt veroorzaakt door direct lamplicht dat door het stalinterieur onderschept en diffuus gereflecteerd wordt. Door de reflectiewaarde van het interieur te verlagen zal er meer lamplicht door de vloer geabsorbeerd worden. Voor een zadeldakstal met een open scherm is een simulatie uitgevoerd waarbij de reflectie van de spanten en roeden verwaarloosd is. In onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven en hieruit blijkt dat de lichtuitstoot in dit geval met de helft kan worden teruggedrongen.

Tabel 3. Effect van een verlaagde diffuse reflectiefactor op de lichtuitstoot

	Referentie	Variant
Reflectie spanten en roeden	10%	0%
Lichtuitstoot	100%	45% gem. (49% Max)

Een praktijkstal bevat echter een groot aantal lichtverstrooiende constructiedelen en het zal niet eenvoudig zijn om deze allemaal hoogabsorberende te maken met bijv. mat zwarte verf.

### 4.3.2 Voorkomen directe belichting gevel

Zoals eerder geconstateerd verhogen lichtverstrooiende transparante schermen de zichtbare uitstoot doordat het directe lamplicht dat bij een open scherm niet zichtbaar is bij gesloten scherm verstrooid wordt en zichtbaar wordt. Door te voorkomen dat het scherm direct lamplicht ontvangt kan de verhoogde lichtuitstoot bij gesloten scherm voorkomen worden.

Om het effect van direct lamplicht op het gevelschem op de lichtuitstoot te berekenen zijn een breedstralende en een smalstralende lamp gemodelleerd (zie onderstaande figuur).

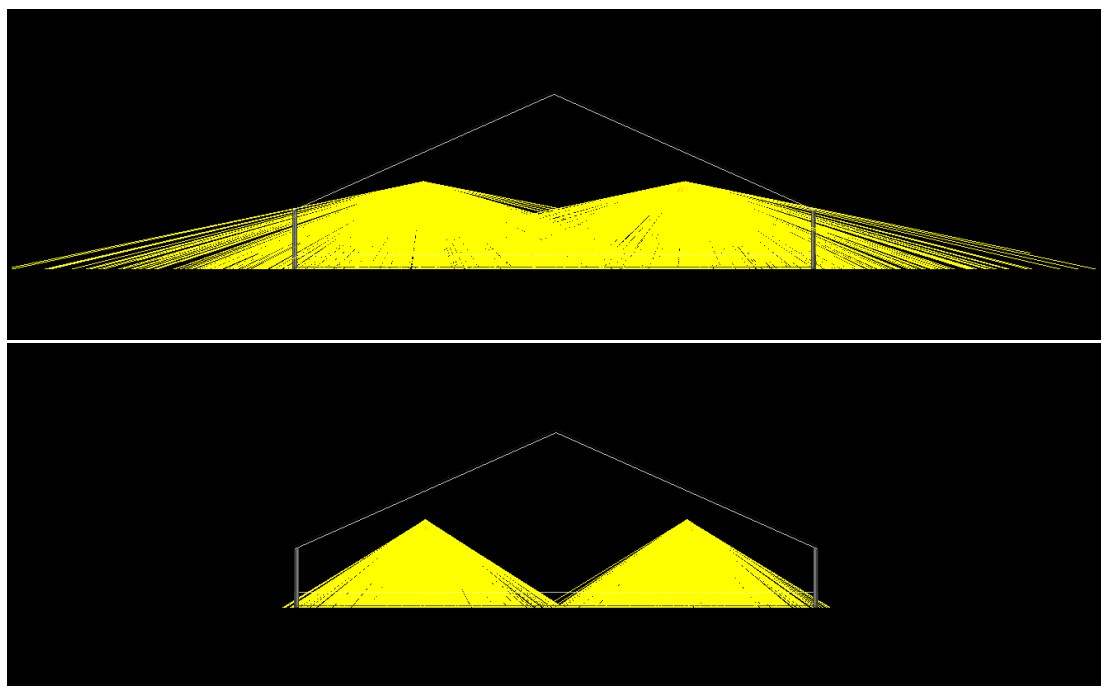


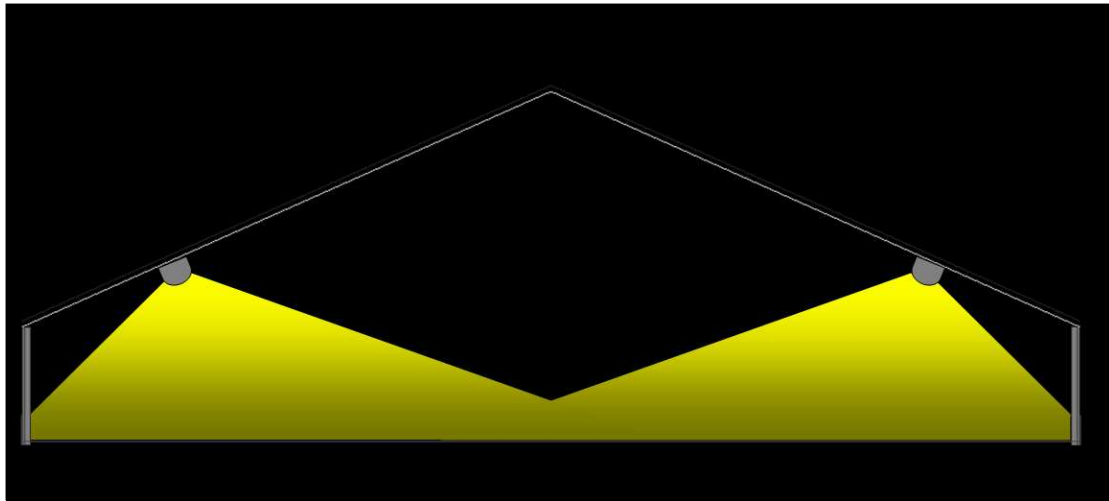
Fig 25. Boven: direct lamplicht van breedstralende lamp raakt het gevelschem. Onder: smalstralende lamp raakt gevelschem niet.

Voor de een lampverdeling uit bovenstaande figuren is een simulatie uitgevoerd. In onderstaande tabel is de gemiddelde en maximale uitstoot weergegeven. Het blijkt dat bij een volledig gesloten wit scherm de maximale lichtuitstoot in dit geval met 88% kan worden verminderd door direct lamplicht op het scherm te voorkomen.

Tabel 4. Effect van het voorkomen van direct lamplicht tegen het gevelschem. Door direct lamplicht op het scherm te voorkomen kan de maximale uitstoot met 88% gereduceerd worden.

	Uitstoot gemiddeld [%]	Uitstoot maximaal [%]
Lamplicht tegen gevel	100	100
Lamplicht niet tegen gevel	33	22

Een andere manier om belichting van het gevelschem te voorkomen is een asymmetrisch armatuur (zie onderstaande figuur).



*Fig 26. Door een asymmetrisch armatuur kan directe belichting van het gevelschem worden voorkomen.*

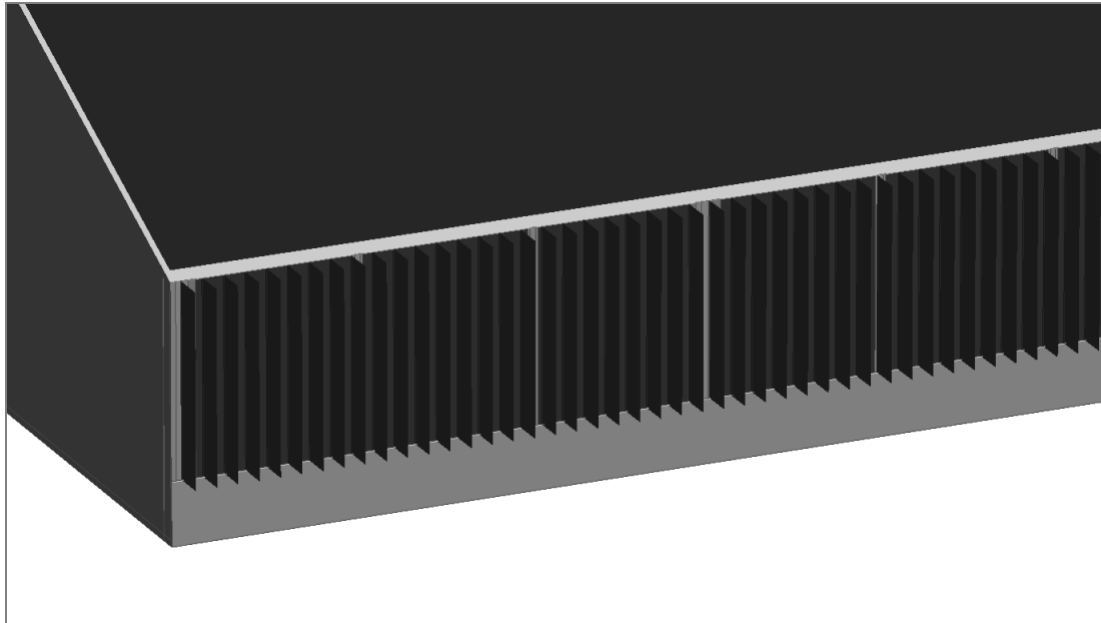
### 4.3.3 Horizontale of verticale Lamellen

Door de gevel uit te rusten met een lamellensysteem kan de lichtuitstoot beperkt worden tot een bepaalde voorkeursrichting (figuur 27). Dit is te vergelijken met lamellen zoals die in gebouwen gebruikt worden om direct zicht naar binnen of een teveel aan direct zonlicht te voorkomen. De lamellen kunnen vertikaal en horizontaal gemonteerd zijn en kunnen vast of draaibaar zijn. Daarnaast moeten de lamellen zoveel mogelijk uitgestoten licht absorberen maar mag het daglicht niet teveel geremd worden.

De lamellen mogen echter niet teveel afbreuk doen aan de natuurlijke ventilatie van de stal. Om voldoende ventilatiecapaciteit te krijgen zijn de lange gevels van de stallen namelijk zoveel mogelijk open. Echter, sterke wind en vogels in de stal zijn ongewenst en om deze reden wordt vaak windbreekgaas (vogelgaas) gemonteerd. Bij weinig of geen wind zorgt trek vanuit de geopende nok van een zadeldakstal voor ventilatie. Verwacht wordt dat door het monteren van lamellen in de gevel de ventilatiecapaciteit om niet drastisch zal verminderen maar dit zal bij toepassing van lamellen eerst uitgezocht moeten worden.

Bijkomend voordeel van draaibare lamellen is dat de lichtuitstoot en ventilatie regelbaar zijn. De hoek van de lamellen bepaalt in zekere mate de ventilatie en in grote mate de reductie van lichtuitstoot. Lamellen lijken dan ook een goede oplossing om de lichtuitstoot sterk te verminderen.

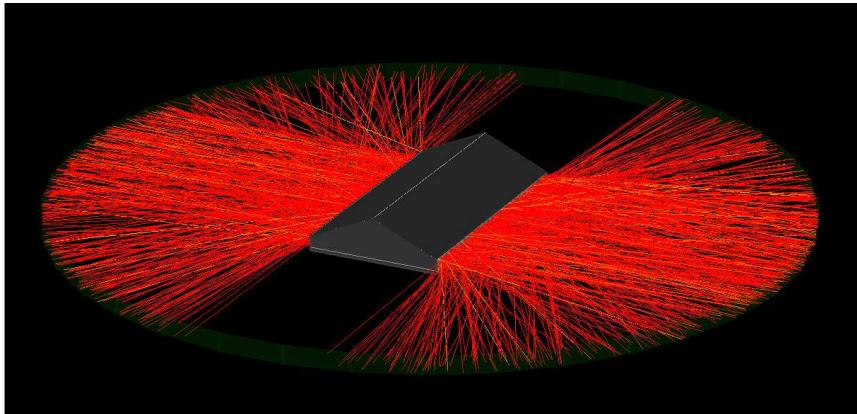




*Fig 27. Verticale lamellen in de gevel van een zadeldakstal*

Voor een zadeldakstal met draaibare verticale lamellen is voor een reeks lamelstanden de relatieve lichtuitstoot uitgerekend. De lamellen zijn 100% lichtabsorberend en de lamelstand loopt van  $0^\circ$  (volledig open) tot  $90^\circ$  (volledig dicht, lamellen overlappen elkaar). De lamellen zijn 50 cm breed en de tussenruimte is 25 cm. Omdat het beperken van de lichtuitstoot op gespannen voet staat met de ventilatie van de stal gaan berekeningen uit van een volledig open scherm omdat in dat geval de ventilatie maximaal is.

Door de juiste hoek van de lamellen te kiezen kan de uitstoot naar bepaalde gebieden in de omgeving voorkomen worden (zie onderstaande figuren).



*Fig 28. Uitstoot bij open scherm zonder lamellen (100% referentie)*

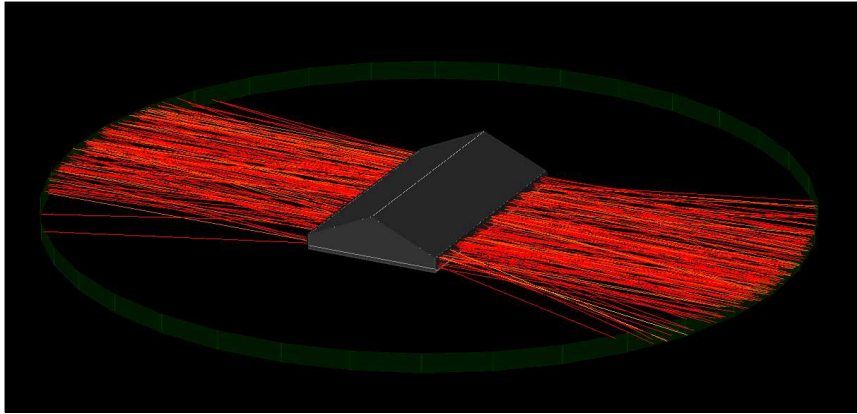


Fig 29. Uitstoot bij open scherm met lamellen op 0°

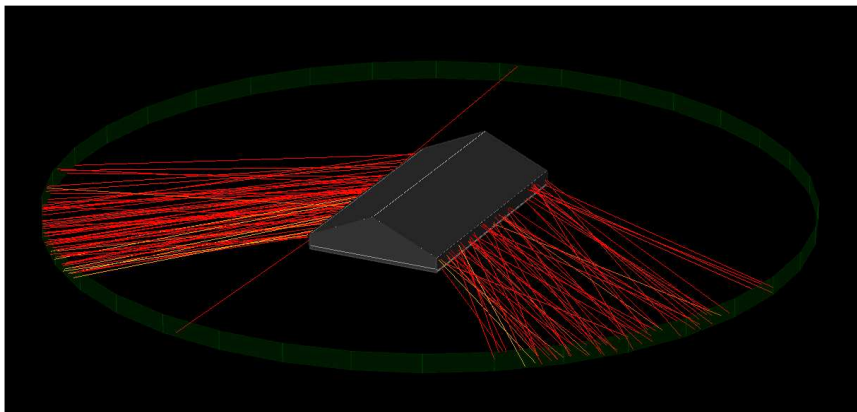


Fig 30. Uitstoot bij open scherm met lamellen op 45°

In onderstaande figuur is de relatie tussen lamelhoek en lichtuitstoot weergegeven.

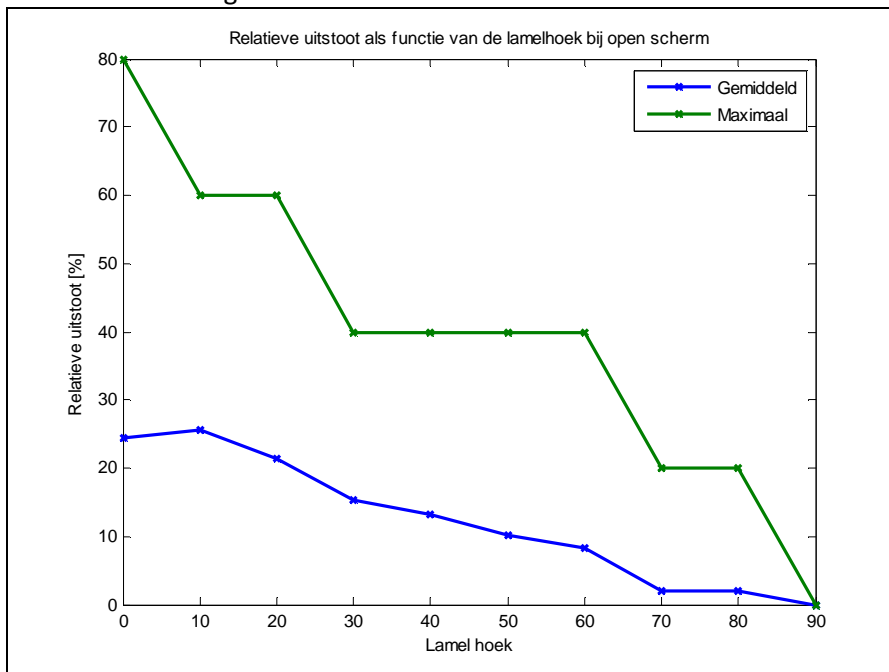


Fig 31. De lichtuitstoot van een zadeldakstal bij geopend scherm als functie van de lamelhoek voor 100% absorberende lamellen.

Met horizontale lamellen kan eenzelfde effect bereikt worden en kan in principe de lichtuitstoot richting het maaiveld of de hemel gericht worden waardoor deze door de omgeving niet meer zichtbaar is.

Geconcludeerd kan worden dat het gebruik van lamellen als oplossing voor lichtuitstoot op een groot aantal parameters geoptimaliseerd zou moeten worden om tot de beste concept te komen. Hierbij moet rekening worden gehouden met:

- Horizontale of verticale uitvoering
- Breedte van de lamellen in verhouding tot de onderlinge afstand
- Materiaalkeuze m.b.t. de reflectiewaarde aan
- Gebruik van spiegelen of diffuus reflecterend materiaal
- Maximalisering van daglichttoetreding
- Ligging van de stal in relatie tot omgeving (woonwijken, fauna etc.)
- Ventilatiecapaciteit van de stal (te bepalen door Computational Fluid Dynamics software)
- Investerings- en onderhoudskosten

## 5 Terugkoppeling metingen

TNO heeft op de 4 melkveestallen met een luminantiecamera de helderheid in  $\text{cd}/\text{m}^2$  gemeten van gedeelten van de gevel van de stal bij een open en geschermd gevel. Tevens is de luminantie van de hemel gemeten om te bepalen in hoeverre de stal bijdraagt aan de belichting van de hemel. In dit hoofdstuk wordt een terugkoppeling gemaakt met de metingen.

Uit de metingen van de luminantie van de hemel blijkt dat "er bij geen enkele stal een verschil was in de lichtsterkte met licht aan of met licht uit. Hieruit zou geconcludeerd kunnen worden dat de stallen geen bijdrage leveren aan de indirecte verlichting van een gebied". Om deze reden is de terugkoppeling alleen van toepassing op de uitstoot door de gevel en niet op de luminantie van de hemel.

De berekende lichtuitstoot is relatief ten opzichte van de totale lichtinput door de lampen en er is geen rekening gehouden met lichtkleur. De belangrijkste reden hiervoor is dat voor een werkelijkheidsgetrouwe berekening van de lichtuitstoot de stal tot in het detail gemodelleerd zou moeten worden waarbij alle optische eigenschappen van muren, vloer etc. conform de werkelijkheid moeten zijn. Dit valt buiten de scope van dit onderzoek en is bovendien praktisch vrijwel onmogelijk.

Bovenstaande houdt in dat de kwantitatieve lichtuitstoot ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) zoals die door TNO is gemeten niet is berekend en niet vergeleken kan worden. Wat wel vergeleken kan worden is de relatieve invloed van een lichtverstrooiend scherm op de uitstoot. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de volgende punten:

- De simulaties gaan uit van een 'verre' waarnemer op 100 m. Vanaf deze positie zijn de lampen niet zichtbaar als die boven de goot hangen. Bij de metingen die relatief dichtbij de stal verricht zijn ( $\pm 15$  m) zijn lampen die boven de goot hangen vaak wel rechtstreeks zichtbaar. Daarom zijn alleen de metingen van veraf ( $\pm 150$  m) vergeleken met de simulaties.
- De beelden zijn gemaakt van een gedeelte van de gevel en op één positie ten opzichte van de gevel waardoor niet de uitstoot rondom is meegenomen en niet perse de maximale uitstoot.
- De simulaties houden geen rekening met reflecties via het erf.

### Invloed scherm

De simulaties laten een verhoging van de lichtuitstoot van 4 tot 8 x zien door het sluiten van het transparante lichtverstrooiende scherm. De metingen laten eveneens een verhoging zien die weliswaar veel kleiner is (1.2 – 2.3 x). Een verschil tussen de gemodelleerde en werkelijke verstrooiing van het scherm is een mogelijke verklaring. Het model verstrooit het licht volledig diffuus terwijl de werkelijke verstrooiing minder zal zijn waarbij het doorgelaten licht een directe component heeft. Hierdoor zal in de praktijk minder licht bij de waarnemer terecht komen dan bij de modelberekeningen. Belangrijk is hier dat de zichtbaarheid sterk vergroot wordt door het sluiten van een transparant lichtverstrooiend scherm.

### Verhouding uitstoot

In onderstaande tabel zijn de door TNO gemeten lichtintensiteiten weergegeven die gemeten zijn op 150 meter afstand van de stal. In de metingen van TNO wordt signaleerd dat stal 2 beduidend meer licht uitstoot dan de overige stallen. Mogelijke verklaringen zijn een relatief zware belichting, laaghangende lampen en witte dakpanelen. Bij de meting op circa 150 meter van de stal is de luminantie gemeten met het scherm volledig open en

volledig gesloten. De lichtuitstoot van de stal nam wel toe bij het sluiten van het gevelschem maar dit effect was minder groot dan op basis van de simulaties verwacht mag worden. Hieruit kwam namelijk naar voren dat door de diffuserende werking van het witte doek de uitstoot juist sterk wordt verhoogd. Bij deze meting echter was er direct zicht op de achterste rij lampen. Dit kan verklaren waarom de zichtbaarheid van deze stal niet veel toe neemt bij het sluiten van het gevelschem.

De ligboxenstal met zadeldak 1 wordt relatief weinig belicht met lampen die vanuit de omgeving niet direct zichtbaar zijn. De lampen hangen veel hoger dan in stal 2. Het plafond is donker en absorbeert veel licht. Hierdoor is de uitstoot lager dan bij stal 2.

De TL-verlichting in de serrestal 3 hangt aan te tralieligger zodat deze via de zijgevels door de omgeving rechtstreeks zichtbaar is. De kopgevels zijn grotendeels lichtdicht. Door het diffuse karakter van het Lumitherm gevelschem wordt de lichtuitstoot verhoogt bij het sluiten van het scherm. Hoewel de lampen direct in het zicht hangen is het gemonteerde vermogen relatief laag waardoor de uitstoot het laagst is van de 4 stallen.

De zijgevels van de serrestal 4 zijn voorzien van een lichtdicht scherm. Bij gesloten scherm is er alleen lichtuitstoot door één open kopgevel. Een toename van de uitstoot bij gesloten scherm is hier niet van toepassing omdat het scherm lichtdicht is. De lampen zijn vanuit de omgeving niet direct zichtbaar aan zijgevelzijde omdat deze boven de goot hangen. Aan de open kopgevel zijn deze echter wel goed zichtbaar en zouden hinder kunnen veroorzaken voor enkele bewoners. Vanuit het dorp is deze gevel echter niet zichtbaar. Een maatregel die relatief eenvoudig genomen zou kunnen worden is het afschermen van het bovenste stuk van de kopgevel waardoor het directe zicht op de lampen wordt weggenomen.

*Tabel 5: door TNO gemeten lichtintensiteiten in de stal en buiten de stal.*

	<i>In de sta, indicatief [lux]</i>	<i>Buiten bij verschillende schermstanden [cd/m<sup>2</sup>]</i>	
		<i>Open</i>	<i>Dicht</i>
<i>Ligboxenstal met zadeldak</i>			
1	35 – 40	1.2	3.6
2	75 – 360	28.3	33.4
<i>Serrestal</i>			
3	10 – 110	0.8	1.6
4	40 – 100	12.3	-

## 6 Conclusies

Melkveestallen van het type serre en zadeldak zijn ontworpen op functionaliteit (ventilatie en lichtbehoefte) en de lichtuitstoot is vooralsnog van ondergeschikt belang. Hierdoor veroorzaken veel melkveestallen in meer of mindere mate lichtuitstoot door de open of transparante gedeelten van de stal. Verreweg de belangrijkste lichtuitstoot (en daarmee mogelijke lichthinder) wordt veroorzaakt door de lange zijgevels die open of met een transparant scherm (gedeeltelijk) afgeschermd zijn.

Aan de hand van de simulaties kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Vogelgaas reduceert de lichtuitstoot met minimaal 9% (grof) en 30% (fijn) waarbij de lichtreductie toeneemt of afneemt met de hoek van inval.
- Het effect van gevelschermen op de lichtuitstoot hangt helemaal af van het gebruikte scherm. Een lichtdicht scherm vermindert de lichtuitstoot met een oplopende schermstand. Bij de zadeldakstal (lampen uit het zicht) is dit evenredig, bij de serrestal (lampen zijn zichtbaar) is dit pas effectief bij hoge schermstanden. Een transparant wit scherm verhoogt de berekende uitstoot sterk, tot wel 12× bij de zadeldakstal in combinatie met de HPS armatuur.
- Wanneer de lampen vanuit de omgeving rechtstreeks zichtbaar zijn, zal de uitstoot veel hoger zijn dan wanneer de lampen niet rechtstreeks zichtbaar zijn. Het hoger ophangen van de lampen (hoger dan de goot), uit het directe zicht van de omgeving, zal de uitstoot aanzienlijk verlagen. Dit heeft met name effect als er geen wit transparant scherm gebruikt wordt. Het is de verwachting dat er in het ontwerp van de armaturen nog winst te behalen is als het gaat om minder direct zicht op de lampen.
- Het verlagen van de reflectie van het stalinterieur (waarbij de lampen uit het zicht hangen) verlaagt de uitstoot in het ideale geval met de helft. Dit is echter nauwelijks een praktische oplossing omdat meer licht geabsorbeerd wordt en het lichtniveau in de stal afneemt met meer geïnstalleerd vermogen tot gevolg.
- Door te voorkomen dat het scherm direct lamplicht ontvangt kan lichtuitstoot bij een gesloten scherm aanzienlijk verminderd worden. De oplossing zal gezocht moeten worden in het ontwerp van het armatuur en van het scherm.
- Het toepassen van lamellen in de gevel beperkt, afhankelijk van de uitvoering, zowel de uitstoot als de richting van het uitgestoten licht. Voorwaarde is het behoud van de ventilatiecapaciteit, eventueel door toepassen van alternatieve ventilatiemogelijkheden.
- Verwacht wordt dat de conclusies met betrekking tot de waarnemer op 100 m ook gelden voor een waarnemen op 50 m, mits er geen direct zicht is op de lampen. Wel zal de gemeten lichtsterkte exponentieel afnemen bij een toenemende afstand van de waarnemer.

Alternatieve manieren van ventileren zouden de lichtuitstoot kunnen verminderen of zelfs geheel kunnen voorkomen. Onderzoek naar nieuwe stalontwerpen waarbij de naast het klimaat en de ventilatiecapaciteit ook de lichtuitstoot centraal staat verdient derhalve aanbeveling.

## **Praktische handvatten**

Ter vermindering van deze lichtuitstoot zijn een aantal praktische handvatten opgesteld die hieronder worden opgesomd.

### ***Boschages***

Het aanbrengen van boschages rondom de stal is een eenvoudige, goedkope en effectieve oplossing voor het verminderen van de zichtbaarheid. Hierbij moet rekening gehouden worden met het type beplanting in verband met mogelijk bladverlies in de winterperiode.

### ***Lichtdicht gevelscherm***

Het witte transparante gevelscherm heeft een hoge lichtverstrooiende werking. Uit zowel de metingen van TNO en de resultaten van de simulaties blijkt dat de zichtbare uitstoot hoger is bij gesloten schermen. Lichtdoorlatendheid is overdag nodig om op koude dagen daglicht binnen te laten maar is tijdens de donkerperiode onnodig en ongewenst. Een lichtdicht (2e) scherm dat tijdens het belichten in de donkerperiode (gedeeltelijk) dichtgetrokken wordt kan de uitstoot sterk beperken.

### ***Voorkomen van direct zicht van de waarnemer op lampen***

Wanneer de lampen vanuit de omgeving rechtstreeks zichtbaar zijn zal de uitstoot veel hoger zijn dan wanneer de lampen niet rechtstreeks zichtbaar zijn. Het hoger ophangen van de lampen, uit het directe zicht van de omgeving, zal de uitstoot aanzienlijk verlagen. In de praktijk worden de schermen van beneden naar boven dichtgetrokken in verband met tocht. Ter voorkoming van direct zicht op de laaghangende lampen zou het van boven naar beneden sluiten van het scherm gunstiger zijn.

### ***Voorkomen van directe belichting van de gevel***

Lichtverstrooiende transparante schermen verhogen de zichtbare uitstoot sterk. Door te voorkomen dat het scherm direct lamplicht ontvangt kan lichtuitstoot bij gesloten scherm drastisch verminderd worden. De oplossing zal gezocht moeten worden in het ontwerp van het armatuur.

### ***Donkerperiode***

Voor de koe is een dagelijkse donkerperiode gewenst. Deze donkerperiode voor de koe kan worden afgestemd op de gewenste donkerperiode voor de omgeving.

### ***Lamellen in de gevel***

Het gebruik van lamellen om de lichtuitstoot slechts in een beperkte richting toe te staan kan een oplossing zijn als de openbare gebieden zich slechts aan één kant van de stal bevinden. Met lamellen in de open stand wordt de ventilatie waarschijnlijk niet te sterk verminderd en wordt de lichtuitstoot voor een groot gedeelte geblokkeerd.