

ADVIESDOCUMENT
voor agrariërs en overheid

“Optimale verlichting van melkveestallen”

Datum: januari 2011

Uitgebracht aan: LTO Noord
Postbus 186
9200 AD DRACHTEN

Opgesteld door: Projecten LTO Noord
Postbus 186
9200 AD DRACHTEN

Contactpersoon: S. Koenders
skoenders@projectenltonoord.nl
T 088 888 66 77
F 088 888 66 70

Betrokken partijen:



VOORWOORD

In opdracht van LTO Noord is de afgelopen maanden onderzoek gedaan naar de optimale verlichting van melkveestallen. Dit mede naar aanleiding van de discussie over dit onderwerp in de provincie Fryslân. Het doel van het onderzoek is om de mogelijkheden in kaart te brengen die gericht zijn op het terugdringen van lichtuitstoot en dit vast te leggen in een adviesdocument voor melkveehouders en beleidsmakers. Het resultaat van dit onderzoek kan enerzijds bijdragen aan een optimale stalverlichting op melkveehouderijbedrijven; anderzijds kan het ook een rol spelen bij de verbetering van de ruimtelijke kwaliteit in de provincie omdat de verlichting van agrarische gebouwen daarvan onderdeel uitmaakt.

Dit onderzoek is bijzonder omdat er voor het eerst lichtmetingen bij melkveestallen zijn verricht.

In dit project werkten LTO Noord, Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen UR Livestock Research, TNO, LTO Vastgoed en Projecten LTO Noord samen.

Het project werd mogelijk gemaakt door een bijdrage van de Provincie Fryslân, Productschap Zuivel en LTO Noord Fondsen.

Een speciaal woord van dank is op zijn plaats aan de 4 melkveehouders voor hun medewerking aan dit onderzoek. Doordat er 's avonds en 's nachts gedurende enkele weken om hun erf en in hun stal metingen zijn verricht, waarbij de melkveehouder ook 's nachts schermstanden moest aanpassen, hebben de onderzoekers een compleet beeld gekregen van lichtuitstoot bij melkveestallen. Ook de gesprekken met en de ervaringen van de melkveehouders waren waardevol.

Namens LTO Noord

Geart Kooistra, LTO Noord in Fryslân

Siebren Reitsma, LTO Noord vakgroep melkveehouderij

BEGRIPPENLIJST

Begrip	Betekenis
achtergrondluminantie	luminantie (helderheid) van de hemel wanneer dat niet wordt aangestraald wordt door het licht van de stal (in cd/m^2).
candela	SI - eenheid van lichtsterkte (symbool cd). Dit is de hoeveelheid licht dat vanuit een bepaalde richting op een bepaald vlak valt.
C-factor	Contrast factor. Verhouding tussen de luminantie van de hemel boven een stal als de verlichting van de stal aan en uit is ($\text{C-factor} = L_{\text{aan}}/L_{\text{uit}}$).
diffuus	In alle richtingen teruggekaatst.
emissie	Uitzending van licht of elektromagnetische straling in het algemeen.
gloed / sky-glow	(Oranje) lichtschijnsel boven een sterk verlicht gebied, veroorzaakt door vochtdeeltjes in de lucht boven het gebied. Het uiterlijk van de gloed is afhankelijk van de meteorologische condities.
lichtspectrum	Verdeling van de energie over de zichtbare golflengten van elektromagnetische straling. Wordt verkregen door de ontbinding / ontleding van licht door bijvoorbeeld een glazen prisma.
lichtsterkte	Hoeveelheid licht dat een lichtbron in een bepaalde richting verlaat. De lichtsterkte wordt uitgedrukt in candela (cd).
lumen	Lichtstroom, (symbool lm). Dit is een maat die aangeeft hoeveel licht een lamp verlaat / licht dat vanuit een bepaalde lichtbron afkomstig is.
luminantie	Een maat voor de helderheid van een oppervlak. Dit is de hoeveelheid licht die per oppervlakte-eenheid wordt uitgestraald of weerkaatst (cd/m^2).
luminantiecamera	meetinstrument om luminanties en luminantieverschillen te bepalen, met behulp van foto's, waarbij van iedere pixel in de foto de luminantie wordt gemeten.
lux	Hoeveelheid licht dat vanuit alle richtingen op een bepaald vlak valt.
luxmeter	meetinstrument om de verlichtingssterkte (lx) te bepalen.
verlichtingssterkte (lx)	Maat voor de hoeveelheid licht dat op een vlak valt, eenheid lux, symbool lx. Ook wel uitgedrukt in lm/m^2 .

NB candela, lumen en lux zijn niet naar elkaar om te rekenen!

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

BEGRIPPENLIJST

1.	ACHTERGRONDEN EN WERKWIJZE VAN HET PROJECT	5
	1.1 Aanleiding	5
	1.2 Doel	5
	1.3 Werkwijze	5
2.	CONCLUSIES UIT DE ONDERZOEKEN	7
	2.1 Lichtbehoefte en arbeidsomstandigheden	7
	2.2 Lichtbehoefte en dierwelzijn, diergezondheid en productie.....	7
	2.3 Lichtmetingen bij de vier pilotstallen	7
	2.4 Metingen van variabelen in het simulatiemodel	10
	2.5 Beleving van lichtuitstoot bij omwonenden.....	11
	2.6 Effect van licht op de flora.....	11
	2.7 Effect van licht op de fauna.....	11
3.	TERUGKOPPELING METINGEN.....	12
4.	HOOFDCONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	15
	4.1 Lichtinvloed op arbeidsomstandigheden	15
	4.2 Lichtinvloed op melkvee.....	15
	4.3 Lichtinvloed op omwonenden.....	15
	4.4 Lichtinvloed op flora en fauna	15
	4.5 Reductie van lichtuitstoot naar de omgeving.....	16
5.	BIJLAGEN	17
	Bijlage 1: Bedrijfsbeschrijvingen van de 4 stallen door Wageningen UR Livestock Research	
	Bijlage 2: Rapport "Lichtbehoeften van koe en melkveehouder" door Wageningen UR Livestock Research	
	Bijlage 3: Rapport "Lichtemissie metingen van 4 melkveestallen in Friesland", door TNO	
	Bijlage 4: Rapport Simulaties, door Wageningen UR Glastuinbouw	
	Bijlage 5: Omgevingsinterviews door Projecten LTO Noord	
	Bijlage 6: "Effecten van lichtuitstoot door melkveestallen op flora en fauna", inventarisatie uit literatuur door Projecten LTO Noord	
6.	COLOFON	

1. ACHTERGRONDEN EN WERKWIJZE VAN HET PROJECT

1.1 Aanleiding

Bij de inrichting van de verlichting van een melkveestal moeten ondernemers rekening houden met steeds meer aspecten. Melkveehouders willen hun stal zo inrichten dat er voldoende verlichting is bij het uitvoeren van de werkzaamheden in de stal. Daarnaast moet de verlichting voor het welzijn en gezondheid van de dieren in de stal optimaal zijn. Een derde aandachtspunt is het effect van het licht op de omgeving. Het zo goed mogelijk combineren van deze punten roept vaak vragen op.

Ook lokale overheden zoeken naar handreikingen op het gebied van verlichting. Vanwege dierwelzijn en diergezondheid worden nieuwe melkveestallen steeds opener. Dit zorgt voor een goed klimaat voor de dieren. In een melkveestal is natuurlijke ventilatie van groot belang omdat koeien veel warmte afgeven. Doordat stallen steeds opener worden vindt er lichtuitstoot naar buiten plaats. Van zichtbare lichtuitstoot is met name sprake op tijdstippen dat het buiten donker is en dat de stal compleet verlicht wordt. Het gaat dus vooral om de avonduren en de vroege ochtend.

In 2009 is in Friesland in de provinciale politiek onder andere door het toenemend aantal serrestallen een debat aangezwengeld over lichtuitstoot van melkveestallen in deze provincie. Dit ook in samenhang met schaalvergroting en als gevolg daarvan de bouw van steeds grotere melkveestallen. LTO Noord heeft dit onderwerp opgepakt voor nader onderzoek om richting te kunnen geven aan de discussie. Friesland is een provincie met veel open buitengebied en met veel melkveehouders. De melkveehouderij hoort thuis in het Friese landschap. Echter, de maatschappelijke acceptatie van (steeds grotere) verlichte stallen lijkt af te nemen. LTO Noord wil hier proactief mee omgaan en heeft in de afgelopen maanden onderzoek laten doen naar verlichting in melkveestallen. Daarbij is gekeken naar mogelijkheden voor melkveehouders om de lichtuitstoot naar buiten toe te beperken waarbij zowel de ondernemer als het vee als de omgeving zo optimaal mogelijk bediend worden.

Bij het opstarten van dit project bleek in de provincie Groningen eenzelfde discussie te spelen. De Provincie Groningen, LTO Noord en de Milieu Federatie Groningen willen aanvullend onderzoek doen naar de beleving van de melkveestallen bij de omwonenden. De resultaten uit dit Friese project en het adviesdocument kunnen gebruikt worden in Groningen en natuurlijk ook door andere partijen.

1.2 Doel

Met dit adviesdocument wil LTO Noord melkveehouders en beleidsmakers informeren over de verschillende aspecten van optimale verlichting van melkveestallen ten aanzien van het effect van verlichte stallen op de mens en het vee in de stal en op de omgeving (flora, fauna en omwonenden). Er worden aanbevelingen gedaan om lichtuitstoot bij melkveestallen te verminderen.

Melkveehouders, lichtexperts en installatie- en adviesbureaus kunnen dit document benutten bij nieuwbouw, renovatie en (her)inrichting van melkveestallen. Beleidsmakers kunnen dit gebruiken als hulpmiddel bij beleidsontwikkeling. Voor vergunningverleners kan het een hulpmiddel zijn bij bouwvragen.

Een samenvatting van de aanbevelingen voor melkveehouders en beleidsmakers is beschikbaar in een brochure die breed verspreid wordt onder beide groepen. Tevens wordt de inhoud van de brochure via de media onder de aandacht gebracht bij zoveel mogelijk melkveehouders en beleidsmakers. In deze brochure wordt ook aandacht besteed aan de resultaten van de metingen.

1.3 Werkwijze

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van de volgende stappen en methoden.

Stap 1: Het verzamelen van beschikbare informatie

- Er is een literatuuronderzoek gedaan naar de effecten van licht op dierwelzijn, diergezondheid en melkproductie. Tevens is gezocht naar effecten van licht op de mens (bij uitvoering van werkzaamheden in de stal). Hierbij zijn de arbo-eisen meegenomen. Deze inventarisatie is gedaan door Wageningen UR Livestock Research.

- Er is een inventarisatie gedaan naar de literatuur over de effecten van licht op de flora en fauna in de omgeving van melkveestallen. Deze inventarisatie is uitgevoerd door Projecten LTO Noord.

Stap 2: Het selecteren van representatieve stallen voor het uitvoeren van lichtmetingen

- LTO Noord selecteerde samen met Wageningen UR Livestock Research vier bedrijven. LTO Noord heeft het eerste contact gelegd met de betreffende ondernemers. De 4 stallen zijn representatief voor de sector anno 2010 en het zijn in het oog springende stallen. Ze zijn geselecteerd omdat ze onderdelen van het 'nieuwe verlichten' toepassen. Dit houdt in dat de melkveehouders een lichtplan hebben (laten opstellen), moderne verlichting/armaturen hebben geplaatst en de meest recente adviezen opvolgen wat betreft de belichtingstijden. Ook is het aantal lux op de werkvloer gemeten en is er bij de ondernemer de bereidheid om praktische handelingen uit te voeren. Er zijn moderne twee ligboxenstallen met zadeldak en twee moderne serrestallen gekozen.
- Onder een zeer beperkt aantal omwonenden van deze 4 stallen zijn interviews afgenomen waarin gevraagd is naar de beleving van de lichtuitstoot en zichtbaarheid van de stallen. Dit onderdeel was in eerste instantie niet in het projectplan beschreven, maar is op verzoek van Provincie Fryslân uitgevoerd. Vanwege het kleine aantal geïnterviewden kunnen er geen conclusies uit worden getrokken, het geeft slechts een indicatie. De interviews zijn gehouden door Projecten LTO Noord.
- Bij de 4 geselecteerde stallen zijn metingen verricht ten aanzien van de lichtuitstoot. De lichtuitstoot naar boven toe is gemeten door een continuemeting gedurende drie weken. De lichtuitstoot naar de zijkant is eenmalig gemeten (met een luminantcamera) tijdens volledige duisternis en vanuit verschillende posities en op verschillende afstanden van de stallen. Voor het uitvoeren van de metingen is een vast protocol gehanteerd. Deze metingen zijn uitgevoerd door TNO.

Stap 3: Het meten van lichtdoorlatendheid van verschillende materialen en bij verschillende staltypen in een simulatiemodel

Met behulp van een simulatiemodel kan het effect van bepaalde maatregelen op de lichtuitstoot worden berekend. Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Glastuinbouw. Hier beschikt men over een optisch simulatiepakket waarmee de verspreiding van licht berekend kan worden. Dit model is aangepast voor de melkveehouderij en de maten van een veel voorkomende ligboxenstal met zadeldak en van een veelvoorkomende serrestal zijn hierin ingevoerd. Tevens is van vijf verschillende veel gebruikte materialen de lichtdoorlatendheid gemeten en ingevoerd in het model (windbreekgaas grof, gordijn groen, gordijn wit/transparant, lichtdoorlatende golfplaat, vogelgaas). Vervolgens zijn metingen gedaan in het model met een aantal maatregelen die normaliter ook variabel zijn in melkveestallen (ze behoren tot de keuzes waar een melkveehouder voor staat bij de bouw en inrichting van een nieuwe stal) Voorbeelden hiervan zijn:

- De soort lampen en de positie van de lampen
- De mate van gevelafscherming (zijwandventilatie)
- Het type gevelafscherming (zijwandventilatie).

Stap 4: Koppeling metingen en advies na stalbeoordeling

Voorafgaand aan de metingen zijn de vier stallen door experts van Wageningen UR bezocht, beschreven en beoordeeld op geschiktheid voor deelname aan dit onderzoek. Bij de beoordeling is gebruik gemaakt van de door hen aangedragen adviezen voor een optimale verlichting. De berekeningen die verkregen zijn door het modelleren kunnen niet 1 op 1 gekoppeld worden aan de TNO-metingen en de beoordeling van de vier stallen. Uit de metingen met de modellen kunnen trends gesignaleerd worden met betrekking tot de invloed van variabelen (doek, gaas, dakplaten, stand van de lampen, armaturen, en lichtabsorptie van het interieur) op de lichtuitstoot. De gemodelleerde stallen zijn sterk vereenvoudigd ten opzichte van de werkelijkheid. Er worden dus geen absolute waarden berekend maar relatieve invloeden van variabelen ten opzichte van de lichtuitstoot van de referentie. Daarentegen leveren de metingen van TNO bij de vier stallen wel absolute waarden op.

2. CONCLUSIES UIT DE ONDERZOEKEN

De conclusies die getrokken worden per uitgevoerd onderzoek zijn hieronder kort weergegeven. Veel zaken hebben betrekking op bedrijfsaspecten die voor de agrariër relevant zijn en ook nuttig zijn voor beleidsmakers.

2.1 Lichtbehoefte en arbeidsomstandigheden in stallen

- Bij het uitvoeren van reguliere werkzaamheden in de stal is behoefte aan een verlichtingssterkte van ten minste 30 lux. Bij secuur werk of wanneer veel in de (donkere) avonden wordt gewerkt, zijn hogere minimale verlichtingssterktes tot ca. 250 lux gewenst. Denk bijvoorbeeld aan het werk in de melkstal.

2.2 Lichtbehoefte en dierwelzijn, diergezondheid en productie

- Om te kunnen zien en om natuurlijk gedrag te kunnen vertonen hebben jongvee en volwassen koeien voldoende licht nodig. Een verlichtingssterkte vanaf ongeveer 130 lux is hiervoor voldoende. Daarnaast hebben de dieren een dagelijkse donkerperiode (<5 lux) nodig van ten minste 6 uren om hun biologische klok te resetten. Koeien kunnen waarschijnlijk kleur zien, maar eventuele effecten van een lichtkleur op de koe zijn onbekend.
- De ontwikkeling van jongvee wordt gestimuleerd door licht. Kalveren en pinken hebben baat bij een daglengte van ca. 16 uren. Op grond van een zeer beperkt aantal studies naar de effecten van licht op het afweersysteem of op het optreden van (infectie)ziekten bij koeien, kunnen nog geen uitspraken worden gedaan. De vruchtbaarheid van koeien wordt eveneens gestimuleerd door een daglengte van ca. 16 uren.
- De melkproductie van koeien kan met zo'n 8 à 9 procent worden verhoogd door de daglichtperiode buiten de zomermaanden met lamplicht te verlengen tot 16 uren licht (en 8 uren donker). Hiervoor is een verlichtingssterkte nodig van minimaal 150 lux, gemeten op dierniveau (dat wil zeggen op ooghoogte dieren).
- Aan de bovenstaand beschreven lichtbehoeften van ondernemer en koe wordt voldaan door tijdens de dagelijkse lichtperiode een verlichtingssterkte toe te passen van minimaal 150 lux en dagelijks een donkerperiode te hanteren van ten minste 6 uren bij een verlichtingssterkte beneden vijf lux. De lampen moeten zo worden opgehangen dat een gelijkmatige lichtverspreiding over de stal wordt bereikt en genoemde verlichtingssterkten op dierniveau worden gehaald.

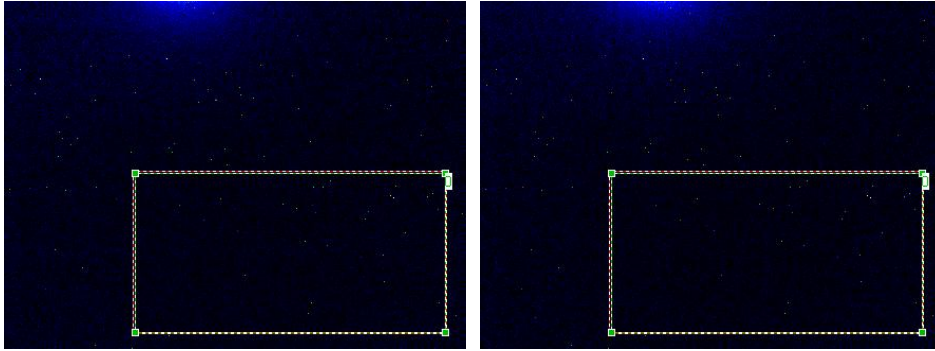
2.3 Lichtmetingen bij de vier pilotstallen

De lichtuitstoot die stallen veroorzaken wordt voornamelijk veroorzaakt door licht dat door de gevel naar buiten uitstraalt. Aangezien de stallen vaak afgelegen en in een relatief donkere omgeving liggen, kan dit tot in de wijde omtrek worden waargenomen. Meest opvallende conclusie is dat er nagenoeg geen verschillen in de resultaten van de metingen zijn gevonden bij de verschillende bouwtypen (de ligboxenstal met zadeldak en de serrestal). In dit hoofdstuk worden diverse variabelen getoond die ook bepalend zijn voor de zichtbaarheid van licht uit 4 gemeten stallen.

TNO heeft in candela en niet in lux gemeten. Dit omdat de hoeveelheid licht vanuit een bepaalde richting, namelijk de stal, gemeten moest worden. Lux geeft de hoeveelheid licht aan dat vanuit alle richtingen op een bepaald vlak valt. Hoe groter de afstand tussen de stal en de luxmeter, des te lastiger is de invloed van de stalverlichting op de totale hoeveelheid licht te bepalen. Dit is bij een luminantiecamera/candelameter niet het geval. Ook geven de resultaten van een luminantiecamera meer informatie.

Bij een luxmeter is de positie ten opzichte van de stal erg belangrijk. Een minimale verplaatsing van de meter kan grote gevolgen in de meetresultaten hebben. Dit maakt het vergelijken van waarden tussen verschillende stallen daarom ook zeer lastig. Om bovengenoemde redenen is in dit onderzoek in candela gemeten.

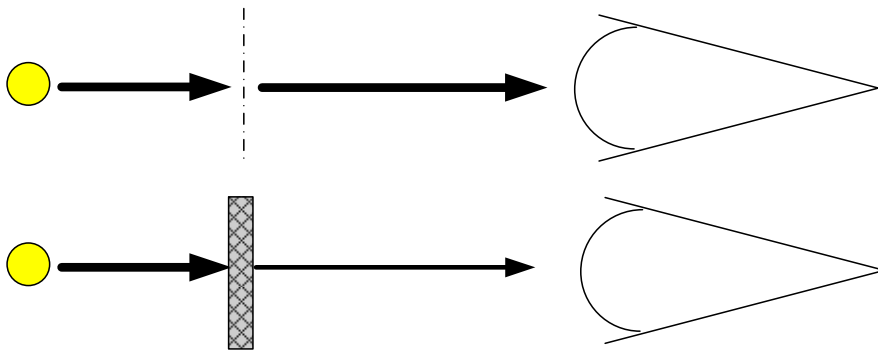
De luminantie van de hemel boven een bepaald gebied wordt niet veranderd door de verlichting van een stal. Wanneer er geen direct zicht op de stal is, zal het licht uit de stal waarschijnlijk ook niet als hinderlijk worden ervaren.



Figuur 1 Luminantiebeeld van de hemel boven bedrijf 4. Geen verschil in luminantie van de hemel wanneer het licht in de stal aan (links) of uit (rechts) is.

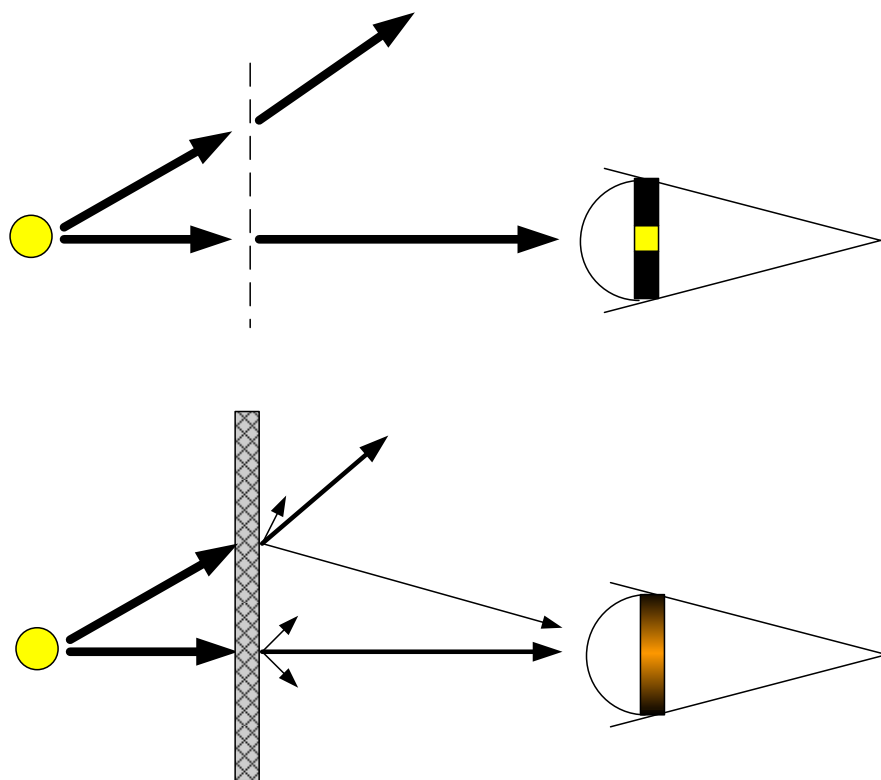
De gebruikte doeken (lumitherm en het transparant witte doek) in de stallen waar de metingen zijn uitgevoerd, houden een deel van het licht tegen. Daarnaast wordt het deel van het licht dat er wel door heen komt diffuus (in alle richtingen) uitgestraald. Dit effect is het grootst bij de transparante witte doeken. Dit heeft de volgende effecten:

- Wanneer er direct zicht is op een lichtbron dan verminderd het doek de luminantie die uit die richting komt. (zie figuur 2). Bij de gemeten doeken in de bedrijven 1 en 2 (transparant wit doek) kwam nog slechts 0,8% van het licht door. Bij het lumitherm doek (bedrijf 3) was deze 6,3%.

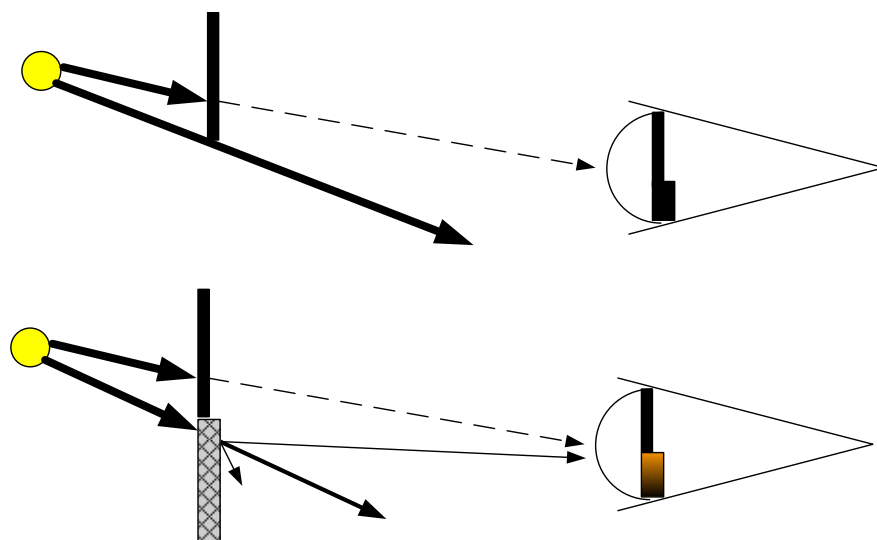


Figuur 2 Het schermdoek vermindert de hoeveelheid licht dat van een bepaalde lichtbron direct in het oog komt.

- De schermen hebben een diffuserende werking (vooral het transparante witte doek en in mindere mate het lumithermdoek). Dit betekent dat het licht dat vanuit de lampen, onder een bepaalde hoek, op het doek in alle richtingen wordt verspreid. Als gevolg hiervan wordt de gevel als één lichtgevend scherm waargenomen wanneer de lampen aan zijn. Wanneer het scherm is geopend zijn alleen de relatief felle lampen te zien terwijl de rest van de stal relatief donker is in vergelijking met het gesloten scherm. In figuur 3 is schematisch weergegeven hoe dit principe werkt.



- Figuur 3 Weergave van de diffuserende werking van een schermdoek. Zonder doek of met een niet diffuus transparant doek, zie je een fel verlicht punt (lamp). Met een doek komt er ook een deel van het licht dat op andere punten door het scherm komt bij de waarnemer. (Het verspreidt zich over een groter gedeelte)
- De diffuserende werking van het transparante witte doek en in mindere mate lumitherm doek kan tot gevolg hebben dat een stal die met scherm open nauwelijks zichtbaar is, maar met een gesloten scherm wel zichtbaar is. Als de lampen zo zijn opgehangen dat ze vanuit het oogpunt van de waarnemer niet direct zichtbaar zijn, zal er weinig licht van de stal de waarnemer bereiken. Wanneer het scherm echter wordt gesloten zal alsnog een deel van het licht zichtbaar worden voor de waarnemer. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in figuur 4.



- Figuur 4 Wanneer het directe zicht op de lamp is ontnomen bereikt het directe licht niet de waarnemer. In de onderste situatie wordt licht dat zonder afscherming niet zou worden waargenomen door het diffuserende scherm afgebogen richting waarnemer.

- Bij alle metingen die gedaan zijn op ongeveer 15 meter afstand van de gevel is de gemiddelde luminantie van de gevel minder bij een gesloten scherm. Door het sluiten van het scherm wordt de luminantie nog slechts 20 tot 60% van de luminantie bij een open scherm. Dit gaat alleen op wanneer er direct zicht is op de lampen. Wanneer er sprake is van geen direct zicht op de lampen, kan de luminantie toenemen wanneer het doek wordt gesloten.
- Op een afstand van ongeveer 150 meter heeft het sluiten van het doek (het transparante witte doek en in mindere mate het lumithermdoek) een omgekeerd effect. Hierdoor kan de gemiddelde luminantie van de gevel toenemen met ongeveer 100% (bedrijven 1 en 3). Grootste oorzaak van dit verschil met de metingen van een afstand van 15 meter is dat op 150 m geen zicht is op de lampen. Dit zelfde effect is er bij metingen op korte afstand wanneer er geen direct zicht is op de lampen. Bij de meting bij bedrijf 2 was er op een afstand van 150 m nog wel zicht op de lampen. Dit is één van de oorzaken waarom er bij bedrijf 2 (bij een afstand van 150 m) geen verschil is gemeten tussen de luminantie met scherm open of scherm dicht.
- Wanneer de lichtuitstoot van de stallen onderling wordt vergeleken blijkt dat de stal van bedrijf 2 de meeste lichtuitstoot geeft. Dit stemt overeen met de resultaten van de bedrijfsbezoeken. Hieruit was gebleken dat in dit bedrijf het grootste vermogen aan verlichtingsarmaturen hangt, ook hangen de lampen laag en zijn de dakpanelen wit.

2.4 Metingen van variabelen in het simulatiemodel

Melkveestallen van het type 'serre' en 'zadeldak' zijn ontworpen op functionaliteit (onder andere op het gebied van ventilatie en lichtbehoefte) waarbij het aspect lichtuitstoot geen rol van betekenis speelde. 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 zijn de volgende trends gesignaleerd:

- 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 hangt helemaal af van het gebruikte scherm. Het sluiten van een lichtdicht scherm vermindert de berekende lichtuitstoot. Het sluiten van een transparant wit scherm daarentegen verhoogt de berekende lichtuitstoot sterk. Dit effect geldt alleen als er geen direct zicht op de lampen is.
- 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.
- 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 het toepassen van alternatieve ventilatiemogelijkheden.
- Verwacht wordt dat de conclusies met betrekking tot de waarnemer op 100 meter ook gelden voor een waarnemer op 50 meter, 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 naast het klimaat en de ventilatiecapaciteit ook de lichtuitstoot centraal staat is daarom een belangrijke aanbeveling.

2.5 Beleving van lichtuitstoot bij omwonenden

Uit de interviews met enkele omwonenden van de 4 ligboxen- en serrestallen zijn de volgende aandachtspunten naar voren gekomen;

- Ondervraagden vonden de lichtuitstoot van de stallen niet mooi, maar het merendeel ervaart het niet als storend. Na een aantal weken treedt bij de meeste ondervraagden gewenning op.
- De ondervraagden vonden over het algemeen de stal zelf meer storend dan de verlichting. Het belemmerde uitzicht werd vaker als storend genoemd dan de verlichting.
- Het meest opvallende aan de verlichting zijn vaak enkele specifieke lampen. Ook werd een aantal keren genoemd dat het licht een gloed verspreidde over de omgeving.
- In overleg met de melkveehouder kan veel bereikt worden. Als omwonenden klachten hadden of hebben over bepaalde verlichting, kon er in sommige gevallen samen met de melkveehouder tot een oplossing worden gekomen.

Deze interviews zijn onder een zeer beperkt aantal omwonenden afgenomen. Dit najaar start de Provincie Groningen een project over de beleving van lichtuitstoot bij melkveestallen. De resultaten van dit Friese onderzoek zullen als uitgangspunt dienen in het Groningse project. De resultaten van het belevingsonderzoek worden met de Provincie Fryslân gedeeld.

2.6 Effect van licht op de flora

De invloed van buitenverlichting (ca. 10 lux) op flora is minimaal en slechts tot enkele meters afstand waarneembaar, alsook de invloed van kasverlichting op flora. De hoeveelheid lux is bij dagelijks zonlicht vele malen hoger dan de lichtsterkte van stalverlichting. Daardoor zal de werking van stallicht alleen (minimale) effecten hebben op de flora zeer dicht nabij een stal. De bloeiperiode van die planten zou verlengd en vervroegd kunnen worden, doordat er gedurende een langere periode fotosynthese kan plaatsvinden binnen de plant. Ook kunnen de planten meer last ondervinden van vorst, aangezien de kwetsbare delen van de plant in het voorjaar eerder zijn gaan groeien en de plant in het najaar later in rust komt.

2.7 Effect van licht op de fauna

- Uit de inventarisatie van de literatuur bleek dat er verschillend gedrag optreedt bij een aantal diersoorten, dit is in verschillende onderzoeken in het veld aangetoond. Dieren kunnen effecten van licht ondervinden op het gebied van:
 - Verstoring van hun natuurlijk gedrag
 - Aantrekkingskracht of afstotend effect
 - Verandering van de habitatkwaliteit.
- Weidevogels reageren aantoonbaar op verlichting, de kwaliteit van leefomgeving (habitat) verandert erdoor. De vogels nestelen bij voorkeur op enkele honderden meters van de lichtbron. Zolang duisternis te vinden is in een groot deel van de leefomgeving van weidevogels, hoeft een verlichte melkveestal niet als nadelig gezien te worden voor de weidevogelstand.
- Bunzing, hermelijn, vos en muskusrat worden aantoonbaar aangetrokken door licht.
- Vogels en vleermuizen worden aangetrokken door de insecten die op licht af komen.

3. TERUGKOPPELING METINGEN

Voorafgaand aan de meting zijn de vier stallen door experts van Wageningen UR Livestock Research bezocht en beoordeeld. Van de vier stallen is een uitgebreide beschrijving van de situatie gemaakt (interieur en exterieur). De experts hebben bij de beoordeling adviezen geformuleerd op basis van de aangetroffen situatie. Dit vond plaats vooraf aan alle metingen die hebben plaatsgevonden.

In dit hoofdstuk worden de oorspronkelijke stalbeoordelingen en adviezen gekoppeld aan:

1. De **absolute** metingen die door TNO gedaan zijn.
2. De **relatieve** simulaties die door Wageningen UR Glastuinbouw met een simulatiemodel gedaan zijn.

De metingen die verkregen zijn door het modelleren (in het simulatiemodel) kunnen echter niet 1 op 1 gekoppeld worden aan de TNO-metingen en de beoordeling van de vier stallen. De gemodelleerde stallen zijn sterk vereenvoudigd ten opzichte van de werkelijkheid. Voor een werkelijkheidsgetrouwe berekening van de lichtuitstoot zou de stal tot in het detail gemodelleerd moeten worden waarbij alle optische eigenschappen van muren, vloer etc. conform de werkelijkheid moeten zijn. Dit valt buiten het bereik van dit onderzoek en is bovendien praktisch vrijwel onmogelijk. De berekende lichtuitstoot is relatief ten opzichte van de totale lichtinput door de lampen en er is geen rekening gehouden met de lichtkleur.

Uit de metingen met de modellen kunnen trends gesignaleerd worden met betrekking tot de invloed van variabelen (doek, gaas, dakplaten, stand van de lampen, armaturen, en lichtabsorptie van het interieur) op de lichtuitstoot. Er worden dus geen **absolute** waarden berekend maar **relatieve** invloeden van variabelen ten opzichte van de lichtuitstoot van de referentie. Daarentegen leveren de metingen van TNO bij de vier stallen wel **absolute** waarden op.

TNO heeft bij de vier melkveestallen met een luminantiecamera de helderheid in cd/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 koppeling 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 kan geconcludeerd worden dat de stallen geen bijdrage leveren aan de indirecte verlichting van een gebied. Om deze reden is de koppeling alleen van toepassing op de uitstoot door de gevel en niet op de luminantie van de hemel.

Bovenstaande houdt in dat de kwantitatieve lichtuitstoot (cd/m^2) zoals die door TNO is gemeten niet vergeleken kan worden met de resultaten van het modelleren. 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 meter. Vanaf deze positie zijn de lampen niet zichtbaar als ze hoger dan de goot hangen. Bij de metingen die relatief dicht bij de stal verricht zijn (± 15 meter) zijn lampen die hoger dan de goot hangen vaak wel rechtstreeks zichtbaar. Daarom zijn alleen de metingen van veraf (± 150 meter) 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 per se de maximale uitstoot.
- De simulaties houden geen rekening met reflecties via het erf.

Invloed scherm

De simulaties laten een trend zien van een verhoging van de lichtuitstoot van 4 tot 8 x door het sluiten van het transparante lichtverstrooiende scherm. De metingen laten eveneens een trend zien van een verhoging die weliswaar veel kleiner is (1.2 – 2.3 x). Een verschil tussen de gemodelleerde en de werkelijke verstrooiing van het scherm is een mogelijke verklaring. Het model verstrooit het licht in alle richtingen (volledig diffuus) terwijl de werkelijke verstrooiing minder groot zal zijn. Hierdoor zal in de praktijk minder licht bij de waarnemer terecht komen dan in de modelberekeningen. Belangrijk is hier dat de zichtbaarheid sterk vergroot wordt door het sluiten van een transparant lichtverstrooiend scherm. Dit effect gaat op indien er geen direct zicht op de lampen is.

Verhouding lichtuitstoot

In onderstaande tabel zijn de door TNO gemeten lichtintensiteiten weergegeven die gemeten zijn op 150 meter afstand van de stal. Ook heeft Wageningen UR Livestock Research het minimale en het maximale verlichtingsniveau in de stal is gemeten. Deze meetresultaten waren bedoeld om een globale indicatie te krijgen van de heersende verlichtingssterkten in de stal. Als het doel was geweest om heel nauwkeurig het aantal lux in de stal te meten was voor een andere opzet gekozen.

Tabel 1: Overzicht van de door TNO gemeten lichtintensiteiten in cd/m² en door Wageningen UR Livestock Research gemeten lux op de werkvloer

	<i>Gemeten lux in de stal (indicatief)</i>	<i>Scherm (candela)</i>	
		<i>Open</i>	<i>Dicht</i>
<i>Ligbox</i>			
Stal 1	35 – 40	1.2	3.6
Stal 2	75 – 360	28.3	33.
<i>Serre</i>			
Stal 3	10 – 110	0.8	1.6
Stal 4	40 – 100	12.3	-

Er zijn 4 bedrijven geselecteerd die representatief zijn voor de melkveehouderij in Friesland anno 2010 als het gaat om verlichting. Deze melkveebedrijven vallen op door hun lichtuitstoot. Ook passen zij een aantal adviezen van 'het nieuwe verlichten' toe. Dit houdt in dat de melkveehouders een lichtplan hebben laten opstellen, moderne verlichting/armaturen hebben geplaatst en de meest recente adviezen opvolgen wat betreft de belichtingstijden. Ook zijn deze stallen representatief als het gaat om de meest gebouwde nieuwe staltypen.

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat de optimale verlichtingssterkte 150 lux is, maar in de praktijk worden er vaak minder lampen opgehangen en wordt deze sterkte niet altijd gehaald. Reden hiervoor is dat de realisatie van de optimale verlichting van 150 lux vrij kostbaar is. Ook de vier geselecteerde bedrijven hebben niet allemaal alle adviezen wat betreft 'het nieuwe verlichten' opgevolgd. Zoals boven gesteld is er wel een globale indicatie van het aantal gemeten lux in de stal bekend maar is dat niet heel nauwkeurig. Niettemin zijn deze bedrijven representatief.

De verlichtingssterkte die binnen in de stal gehanteerd wordt, kan niet evenredig worden gekoppeld aan de uitstoot naar buiten en de mogelijke hinder. Zoals in dit hoofdstuk te lezen is, liggen daar veel variabelen aan ten grondslag.

Koppeling tussen stalbeoordelingen, metingen TNO en simulaties door Wageningen UR Glastuinbouw

De simulaties laten een trend zien van een verhoogde lichtuitstoot van 4 tot 8 x door het sluiten van een lichtdoorlatend scherm. Terwijl de TNO-metingen bij de 4 stallen eveneens een verhoging laten zien, maar deze is veel kleiner (1.2 – 2.3 x) dan die in het simulatiemodel.

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

In de metingen van TNO wordt gesignaleerd 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 met het scherm volledig gesloten. De lichtuitstoot van de stal nam wel toe bij het sluiten van het gevelscherm maar dit effect was minder groot dan verwacht. Uit het modelleren kwam namelijk naar voren dat door de diffuserende werking van het witte doek de uitstoot juist sterk wordt verhoogd. Bij deze meting was er direct zicht op de achterste rij lampen. Dit kan verklaren waarom de zichtbaarheid van deze stal niet sterk toeneemt bij het sluiten van het gevelscherm.

De TI-verlichting in (serre-)stal 3 hangt aan een tralieligger zodat deze via de zijgevels door de omgeving rechtstreeks zichtbaar is. De kopgevels zijn grotendeels lichtdicht. Door het diffuse karakter van het lumitherm gevelscherm wordt de lichtuitstoot verhoogd 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 (serre-)stal 4 zijn voorzien van een lichtdicht scherm. Bij een 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.

4. HOOFDCONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk worden er aanbevelingen gegeven op basis van de resultaten en conclusies uit de vorige hoofdstukken. De belangrijkste conclusies zijn:

1) De zichtbaarheid van stalverlichting wordt sterk vergroot door het sluiten van een transparant lichtverstrooiend scherm. Dit effect gaat alleen op indien er geen direct zicht op de lampen is.

2) 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 kan geconcludeerd worden dat de stallen geen bijdrage leveren aan de indirecte verlichting van een gebied.

De aanbevelingen zijn vooral gericht op de agrarische bedrijven.

Centraal staat dat veel bereikt kan worden als een agrariër zich bewust is van zijn omgeving en bewust omgaat met lichtuitstoot. Onderstaande maatregelen bieden voldoende handvatten daarvoor. Het zijn vooral de technische en economische mogelijkheden van de ondernemer, de lichtbehoefte van het vee en diegenen die moeten werken in de stal; maar óók de signalen van omwonenden die leiden tot keuzes waarmee lichtuitstoot en daarmee zichtbaarheid van een verlichte stal verminderen.

Hieronder volgen per onderdeel/onderzoek de aanbevelingen.

4.1 Lichtinvloed op arbeidsomstandigheden

Uit het literatuuronderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

Aanbevolen wordt om ten aanzien van diegenen die werken in de stal ten minste een lichtsterkte van 30 lux te hanteren. Bij nauwkeurige werkzaamheden, zoals in de melkstal, wordt een lichtsterkte van ca. 250 lux aanbevolen.

4.2 Lichtinvloed op melkvee

Uit het literatuuronderzoek is de volgende informatie gevonden:

- In verband met het dierwelzijn (het kunnen zien en het vertonen van natuurlijk gedrag) door koeien (volwassen koeien, pinken en kalveren), wordt aanbevolen om tijdens de lichtperiode een minimale verlichtingssterkte te hanteren van 130 lux. Voor een gezond dagnachtritme is een dagelijkse donkerperiode belangrijk gedurende ten minste 6 uur bij minder dan 5 lux verlichtingssterkte.
- Er kunnen geen aanbevelingen worden gedaan over verlichting ten aanzien van diergezondheid.
- De melkproductie van koeien kan met ongeveer 8 á 9 procent worden gestimuleerd door de daglichtperiode buiten de zomermaanden met lamplicht te verlengen tot 16 uren licht (en acht uren donker). Hiervoor is een verlichtingssterkte nodig van minimaal 150 lux, gemeten op dierniveau .

Aan de hiervoor beschreven lichtbehoeften voor arbeidsomstandigheden en melkvee wordt voldaan door tijdens de dagelijkse lichtperiode een verlichtingssterkte toe te passen van minimaal 150 lux en dagelijks een donkerperiode te hanteren van ten minste 6 uren bij een verlichtingssterkte beneden vijf lux. De lampen moeten zo worden opgehangen dat een gelijkmatige lichtverspreiding over de stal wordt bereikt en genoemde verlichtingssterkten op dierniveau worden gehaald.

4.3 Lichtinvloed op omwonenden

Omdat er een klein aantal omwonenden is geïnterviewd kunnen de resultaten van deze gesprekken niet worden gebruikt om onderbouwde uitspraken te doen. In de Provincie Groningen is gestart met een belevingsonderzoek. De resultaten hiervan worden in februari 2011 verwacht. Deze resultaten komen ook ter beschikking van de provincie Friesland.

4.4 Lichtinvloed op flora en fauna

Er is een inventarisatie gedaan van de literatuur op dit gebied. Hieruit zijn conclusies getrokken (zie bijlage 6), maar geen aanbevelingen uit naar voren gekomen.

4.5 Reductie van lichtuitstoot naar de omgeving

Voor de reductie van lichtuitstoot naar de omgeving komen uit het onderzoek onderstaande handreikingen naar voren. Deze handreikingen zijn het resultaat van het modelleren door Wageningen UR Glastuinbouw en de metingen door TNO. De keuze voor de te nemen maatregelen is afhankelijk van de ondernemer en de omgeving.

Uit het modelleren en de metingen kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

- 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.
- Lichtverstrooiende transparante schermen verhogen (bij niet direct zicht op de lampen) de zichtbare uitstoot sterk. Door te voorkomen dat het scherm direct lamplicht ontvangt kan lichtuitstoot bij een gesloten scherm drastisch verminderd worden. De oplossing zal gezocht moeten worden in het ontwerp van de armatuur en van het scherm.
- Uit het literatuuronderzoek blijkt dat een dagelijkse donkerperiode (ca. < 5 lux) voor de koe gewenst is. Deze donkerperiode voor de koe kan worden afgestemd op de gewenste donkerperiode voor de omgeving.
- Het aanbrengen van bosschages 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.
- 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.
- 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.
- 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 als er niet direct zicht op de lampen is. 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.
- Het materiaalgebruik in de stal is van invloed op de lichtuitstoot. Hoe minder het materiaal in de stal het licht reflecteert hoe lager de uitstoot. Dit omdat er meer licht geabsorbeerd wordt. In de praktijk betekent dit dat het lichtniveau in de stal afneemt waardoor er meer verlichting nodig is.

5. BIJLAGEN

1. Bedrijfsbeschrijvingen van de 4 stallen door Wageningen UR Livestock Research
2. Rapport "Lichtbehoeften van koe en melkveehouder" door Wageningen UR Livestock Research
3. Rapport "Lichtemissie metingen van 4 melkveestallen in Friesland", door TNO
4. Rapport Simulaties, door Wageningen UR Glastuinbouw
5. Omgevingsinterviews door Projecten LTO Noord
6. "Effecten van lichtuitstoot door melkveestallen op flora en fauna", inventarisatie uit literatuur door Projecten LTO Noord

Bijlage 1: Bedrijfsbeschrijvingen van de 4 stallen door Wageningen UR Livestock Research

Bedrijfsbeschrijvingen van de 4 stallen

A. Winkel, Wageningen UR Livestock Research

De melkveebedrijven zijn bezocht op woensdag 17 (bedrijven 1 en 4) en donderdag 18 maart 2010 (bedrijven 2 en 3). De bedrijfsbezoeken werden 's avonds verricht tussen 19.30 en 22.00 uur. Tijden van zonsondergang op deze dagen waren 18:48 en 18:49 uur. De bedrijfsbezoeken werden uitgevoerd tijdens de donkerperiode. Op elk bedrijf werd een beschrijving gemaakt van de stal en de verlichting. Verder werden met een luxmeter (Lutron, type LX-1102) op diverse plaatsen in de stal (voerpad, voerhek, roostervloer) enkele metingen van de verlichtingssterkte verricht, op dierniveau (ca. 1,2 m hoogte), zowel bij volledige verlichting als bij nachtverlichting. Een overzicht van de belangrijkste kenmerken van de bedrijven wordt gegeven in Tabel 1.

Uit de bedrijfsbezoeken en bedrijfsbeschrijvingen in de tabel blijkt dat alle vier bedrijven over moderne en recent gebouwde stallen beschikken die representatief zijn voor veel stallen die vandaag de dag worden gebouwd. Twee stallen betroffen Serrestallen, de twee andere moderne ligboxenstallen met zadeldak en met een hoge goot-/nokhoogte, open zijgevels en nokventilatie. Eén stal beschikte over traditionele TL-verlichting, een andere stal over metaalhalidelampen (wit licht) en 2 stallen waren uitgerust met natriumhogedruklampen (geel licht), waarmee de in de melkveehouderij gangbare lamptypen vertegenwoordigd waren.

Uit de bedrijfsbezoeken blijkt dat op alle bedrijven bovengemiddeld wordt verlicht; d.w.z. meer dan de traditioneel geadviseerde hoeveelheid TL-lampen (Handboek Melkveehouderij, 1997) zoals die in oudere (ligboxen)stallen veel werden toegepast. Alle bedrijven zijn, mede door de open zijgevels en de duistere omgeving waarin ze staan, opvallend verlichte stallen. Alle vier bedrijven hebben het licht aan gedurende 16–17 uren per dag. De maximale verlichtingssterkten in de stal ('s avonds, bij duisternis buiten, volledige verlichting binnen en gemeten op dierniveau) bedroegen voor stal 1 ca. 40 lux, stal 2 ca. 360 lux, stal 3 ca. 110 lux en stal 4 ca. 135 lux. Bij het voeren van nachtverlichting bedroegen de verlichtingssterktes respectievelijk <5, 3–20, <1 en <3 lux. Bedrijven 2, 3 en 4 voldoen daarmee aan het lichtadvies (conclusie) uit paragraaf 1.3. Alleen op bedrijf 1 is de verlichtingssterkte in de stal aan de lage kant. Op dit bedrijf zijn minder metaalhalide lampen geïnstalleerd dan geadviseerd door het verlichtingsbedrijf. Doordat op dit bedrijf geen speciale nachtverlichting aanwezig is (2 van de 8 metaalhalidelampen blijven 's nachts aan) is het 's nachts nog relatief licht in de stal. De melkveehouders gaven aan dat extra verlichting naast de nachtverlichting niet noodzakelijk is voor het bezoeken van de melkrobot in de nachtelijke uren; naar eigen zeggen kunnen de koeien ook bij nachtverlichting (<5 lux) de melkrobot goed vinden. Alle 4 melkveehouders gaven aan te verlichten met het oog op goede arbeidsomstandigheden in de avonduren.

Tabel 1 Belangrijkste kenmerken van de vier melkveebedrijven

	Bedrijf 1	Bedrijf 2	Bedrijf 3	Bedrijf 4
Type stal	Ligboxenstal met zadeldak 3 + 3 ligboxenstal met zadeldak 10 spantvakken (4,40 m) lang	Ligboxenstal met zadeldak 3 + 3 ligboxenstal met zadeldak 10 spantvakken (6,60 m) lang	Serrestal 2 + 2 Serrestal, 12 spantvakken lang, 5 bogen breed	Serrestal 3+0 Serrestal, 10 spantvakken lang, 3 bogen breed
Bouwjaar	2007	2009	2004	2009
$l \times b \times h_{(nok)} \times h_{(goed)}$	44 x 32 x 3,7 x 11,8 m	66 x 36 x 4,5 x 12 m	54 x 31 x 5 x 7 m	45,5 x 20,5 x 5 x 7 m
Zigevens	Stenen muurtje tot ca. 1 m hoog, verder open (vogelgaas) met transparant wit winddoek	Stenen muurtje tot ca. 1 m hoog, verder open (vogelgaas) met 2 winddoeken (transparant wit en lichtdicht groen)	Rechts: open met vogelgaas en transparant Lumiterm winddoek. Links: open met windbreekgaas en lichtdicht groen winddoek	Open van vloer tot nok, met groen lichtdicht winddoek
Achtergevel	Stenen muur tot ca. 3 m hoog, verder damwandprofiel	Stenen muur tot ca. 2 m hoog, verder damwandprofiel	Damwandprofiel en windbreekgaas	Damwandprofiel en windbreekgaas
Voorgevel	Idem als achtergevel	Geen. Open naar oude ligboxenstal	Bijgebouw voor robots	Damwandprofiel
Dak	Golfplaten met lichtnok (3 m breed)	Sandwichpanelen met lichtnok van geïsoleerde lichtplaten (3 m)	Groen zeildoek	Groen zeildoek
Ventilatieprincipe	Nokventilatie met open zijgevels. Optrekken en zakken winddoek zijgevels gebeurt handmatig	Nokventilatie met open zijgevels. Optrekken en zakken winddoek zijgevels wordt automatisch geregeld d.m.v. weerstation en stalsensoren	Dwarsventilatie met open zijgevels. Optrekken en zakken winddoek zijgevels wordt automatisch geregeld d.m.v. weerstation en stalsensoren	Dwarsventilatie met open zijgevels. Optrekken en zakken winddoek zijgevels wordt automatisch geregeld d.m.v. weerstation en stalsensoren
Melkwinning	2 Melkrobots	3 Melkrobots	2 Melkrobots	1 Melkrobot
Aantal melkkoeien	Ca. 120	Ca. 120	Ca. 125	Ca. 65
Type armatuur/lampen	Armatuur: Agrilight, type AL2002 Lamptype: metaalhalide Vermogen: 250 W per lamp	Armatuur: Agrilight, type AL2007 Lamptype: hogedruknatrium Vermogen: 400 W per lamp	Traditionele TL buis (wit) Vermogen: 45 W per TL-buis	Armatuur: Agrilight, type AL2007 Lamptype: metaalhalide Vermogen: 250 W per lamp
Aantal armaturen	8 stuks in twee rijen van 4	12 stuks in twee rijen van 6	23 stuks in vier rijen	8 stuks in een rij van 7 en 1 lamp boven het voerpad. Verder 2 TL buizen werklucht bij kantoor/robot
Positionering armaturen	De rijen hangen op ca. een kwart van de breedte van de stal vanuit de zijgevel, boven ligboxen en looppaden. Bevestigd aan gordingen	De rijen hangen aan de tweede gording (van de zes) vanaf de zijgevel; op ca. een kwart vanaf de zijgevel, nogal langs de zijden van de stal	De lampen hangen in rijen van 6, 5, 6, 5 en 1 stuks verspreid over de stalruimte (aan onderzijde bogen), boven ligboxen en looppaden (niet boven voerpad)	De rij van 7 hangt in de middelste boog van de drie, in spantvakken 2 t/m 9. De lamp boven het voerpad hangt in de boog aan de zijkant van de stal, in spantvak 10
Hoogte armaturen	Ca. 7-8 m	Ca. 5-6 m	Ca. 4,5 m	Ca. 6 m
Nachtverlichting	Voorste lamp van linkerrij (boven afkalffox) en derde lamp rechterrij (boven koeien) blijven 's nachts aan	In de twee rijen verlichting zijn elk 4 rode staflampen (11 W) geplaatst voor de nachtverlichting	4 van de 23 TL buizen (verspreid door stal) zijn 's nachts aan	3 (extra) TL buizen; 2 boven de melkkoeien, 1 bij de afkalffox
Aan-/uitschakeling	Tijdklok. Licht aan: 5:30 uur. Licht uit: 22:00 uur	Tijdklok. Licht aan: 6:45 uur. Licht uit: 22:45 uur	Handmatig. Licht aan: 6:30 uur. Licht uit: 22:30 uur	Tijdklok + lichtsensor buiten. Licht aan: 6:00 uur. Licht uit: 23:00 uur.
Lichtregime	16,5L:7,5D	16L:8D	16L:8D	17L:7D
Verlichtingssterkte bij volledige verlichting	Gehele stal: 35-40 lux	Voerpad: ca. 75 lux Tussen voerpad en zijgevel: 110 lux	Voerpad: 10-20 lux Recht onder TL buis: 80-110 lux	Voerpad: 40-100 lux Recht onder lamp: ca. 135 lux

		Recht onder lamp: 360 lux	
Verlichtingssterkte bij nachtverlichting	Recht onder lamp: 35 lux Rest van de stal: 3-20 lux	Overall: 0,2-1 lux	Voerpad: 0,3-3 lux Recht onder TL-buis: ca. 20 lux

Bijlage 2: Rapport "Lichtbehoeften van koe en melkveehouder" door Wageningen UR Livestock Research

Lichtbehoeften van koe en melkveehouder

A. Winkel, Wageningen UR Livestock Research

1. Lichtbehoefte van werkenden in de stal in relatie tot arbeidsomstandigheden

Tot eind jaren negentig waren verlichtingsnormen voor melkveestallen uitsluitend gericht op het creëren van goede werkomstandigheden voor de melkveehouder. In het Handboek Melkveehouderij (1997) werden bijvoorbeeld de volgende normen voor de verlichtingssterkte gehanteerd (Tabel 1). Deze normen kunnen nog steeds beschouwd worden als goede arbeidsomstandigheden.

Tabel 1 Normen voor de verlichtingssterkte per bedrijfs onderdeel in het Handboek Melkveehouderij 1997

Stalruimte	Verlichtingssterkte (lux)
Voergang	30
Loop-/eetruimte	30
Melkstal	250
Tanklokaal, afkalfstal, ziekenstal	120
Nachtverlichting	5

In het algemeen geldt dat een hogere verlichtingssterkte nodig is naarmate het werk een scherpere waarneming of meer precisie vergt. Voor een kantoorwerkplek wordt bijvoorbeeld vaak 500 lux als norm gehanteerd, terwijl een horlogemaker behoefte heeft aan ca. 1000 lux. In de stal kan worden volstaan met ca. 30 lux. Hogere verlichtingssterkten zijn echter gewenst als er veel in de donkere avonden wordt gewerkt of als het werk precisie vergt. Dit geldt ook voor de melkstal (ca. 250 lux), waar meer licht nodig is voor bijvoorbeeld het herkennen van speenafwijkingen of melkafwijkingen en het aansluiten van de melkstellen onder de koeien.

2. Lichtbehoefte van de koe in relatie tot dierwelzijn en natuurlijk gedrag

Koeien hebben licht nodig om te zien en natuurlijk gedrag te vertonen. Uit experimenten met kalveren blijkt dat zij reeds bij lage verlichtingssterkten (vanaf ca. 2 tot 5 lux; het is dan bijna donker) objecten kunnen onderscheiden en herkennen (Eiermann, 1978; Phillips en Weiguo, 1991). Bij deze lage lichtniveaus wordt wel meer aan objecten gesnuffeld en gelikt (olfactorische waarneming) wat aangeeft dat het onderscheidingsvermogen minimaal is. Kalveren die bij 2 of 20 lux werden gehouden vertoonden in een experiment van Dannenmann e.a. (2005) ongeveer 2 uren sociaal gedrag (bijv. spelen, vechten) met groepsgenoten. Bij kalveren die bij 100 of 130 lux werden gehouden was dit echter respectievelijk 6,5 en 8,5 uur. De kalveren in de twee groepen met het laagste lichtniveau besteedden meer tijd aan rusten/liggen en vertoonden hun rustgedrag in een minder uitgesproken dagelijks ritme. De auteurs merken op dat bij de laagste twee verlichtingsniveaus de kalveren wellicht minder visueel werden geprikkeld om hun natuurlijk gedrag te vertonen. Een studie naar het loopgedrag van koeien door gangpaden bij verschillende verlichtingssterkten geeft aan dat het loopgedrag van koeien het beste is bij ca. 40-120 lux (Phillips e.a., 2000). Bij lagere verlichtingssterkten gaan koeien wat 'houterig' lopen; met snellere en kortere passen. Dit beperkte aantal studies suggereert dat jongvee en melkkoeien - uit het oogpunt van visuele waarneming en het kunnen vertonen van natuurlijk gedrag - behoefte hebben aan licht bij verlichtingssterkten vanaf ongeveer 130 lux.

Het is waarschijnlijk dat koeien, zoals de meeste zoogdieren, in enige mate kleuren kunnen zien (Jacobs e.a., 1993). Uit een studie van Jacobs e.a. (1998) naar de gevoeligheid van het netvlies van het koeienoog blijkt dat deze twee typen kegeltjes bevat: M/L-kegeltjes met een maximale gevoeligheid voor licht met een golflengte van 555 nm (groen) en S-kegeltjes met een maximale gevoeligheid voor licht met een golflengte van 451 nm (blauw). Ten opzichte van de mens lijkt het koeienoog een (L-)kegeltje met een gevoeligheid voor rood licht (langere golflengten; >610 nm) te missen. Vermoedelijk is het koeienoog daardoor minder gevoelig voor rood licht. Het is echter onbekend wat het effect is van lichtkleur op het gedrag of op dierprestaties van koeien. Een onderzoek hiernaar op melkvee proefbedrijf Nij Bosma Zathe in Goutum is in afronding.

3. Lichtbehoefte van de koe in relatie tot groei, gezondheid en vruchtbaarheid

Ontwikkeling van jongvee

De lichaamsgroei, uierontwikkeling en de leeftijd waarop de eerste ovulatie optreedt wordt bij jongvee beïnvloed door het rantsoen en de daglengte. Uit verschillende experimenten met jongvee is gebleken dat een lange daglengte (16 uren licht, 8 uren donker) de ontwikkeling van jongvee stimuleert (samengevat in: Biewenga en Winkel, 2003).

Diergezondheid

Er is zeer weinig informatie over de effecten van licht op de gezondheid van koeien. Er zijn aanwijzingen dat een korte daglengte bij droge melkkoeien het immuunsysteem activeert (Auchtung e.a., 2004). Dit is eerder al bij knaagdieren aangetoond. Echter; de praktische betekenis hiervan is onduidelijk. Dahl en Petitclerc (2003) noemen in hun overzichtsartikel dat in geen van de studies naar de effecten van lange daglengten op de melkproductie (zie onderdeel Melkproductie) een hogere ziekte-incidentie werd gemeld.

Vruchtbaarheid

In tegenstelling tot bijvoorbeeld schapen, planten koeien zich niet meer seizoensgebonden voort. Toch zijn er nog wel invloeden van daglengte en seizoen op de vruchtbaarheid van koeien. In een overzichtsartikel van Hansen (1985) wordt hiervan een goede samenvatting gegeven. Uit onderzoek blijkt dat het tijdsinterval tussen afkalven en eerste tochtigheid (ovulatie) in het algemeen langer is bij melkkoeien die in de winter of lente kalven t.o.v. koeien die in de zomer of herfst kalven. Dit is echter een seizoenseffect; een combinatie van vele factoren (temperatuur, voeding, enzovoort) waarvan de daglengte er slechts één is. Echter; ook in een praktijkexperiment vond Hansen (1984) een korter tijdsinterval tussen afkalven en eerste tochtigheid bij koeien die dagelijks aan 18 uren licht werden blootgesteld t.o.v. koeien die na afkalven aan een natuurlijke, winterse daglengte werden blootgesteld. Dit effect was het meest uitgesproken bij vaarzen en minder bij oudere koeien. Reksen e.a. (1999) onderzochten op basis van een enquête onder 1538 Noorse melkveehouders of er een relatie bestond tussen de verlichtingssterkte of daglengte enerzijds en melkproductie- of vruchtbaarheidsresultaten anderzijds. Uit deze studie bleek dat daglengten langer dan 12 uur een stimulerend effect hadden op de vruchtbaarheid.

4. Lichtbehoefte van de koe in relatie tot melkproductie

Een zomers lange daglengte van 16–18 uren licht gevolgd door 6–8 uren donker stimuleert de melkproductie van melkgevende koeien t.o.v. een korte (8–12 uren licht) met gemiddeld 8 á 9 procent. Dit werd voor het eerst ontdekt in 1978 door Peters en anderen (Peters e.a., 1978) van Michigan State University (VS) en bevestigd in nog eens een tiental onderzoeken over de gehele wereld. Samenvattingen van dit onderzoek worden gegeven in twee wetenschappelijke overzichtsartikelen (Dahl, 2000; Dahl en Petitclerc, 2003) en een Nederlandstalig rapport (Biewenga en Winkel, 2003).

Stimulatie van de melkproductie door licht is aangetoond in verschillende landen (VS, Canada, Noorwegen, Wales, Israël), op verschillende breedtegraden (33–62° NB), tijdens verschillende seizoenen, bij verschillende koeienrassen (Holstein, Jersey, Swiss Brown, Noors roodbont) en bij verschillende soorten verlichting (TL-buizen, natriumhagedruklampen, metaalhalidelampen). In de meeste studies werden verlichtingssterkten toegepast van ca. 100 tot 350 lux.

De hogere melkproductie bij lange dagen wordt gerealiseerd door een vergelijkbare verhoging van de voeropname; de efficiëntie van de omzetting van voer in melk wordt niet beïnvloed. Ook de melksamenstelling wordt niet beïnvloed door de daglengte. Sommige studies vinden een geringe daling van het vetgehalte van de melk.

Belangrijk is dat de melkproductie niet wordt gestimuleerd wanneer koeien 24 uur per dag in het licht worden gehouden. Koeien hebben behoefte aan een dagelijkse donkerperiode van tenminste 6 uren om hun biologische klok te resetten. Het moet dan ook echt donker (<5 lux) zijn.

Uit het meest recente onderzoek naar dit thema (Miller e.a., 2000; Auchtung e.a., 2005; Wall e.a., 2005; Velasco e.a., 2008) blijkt dat bij droge koeien juist een korte daglengte (8 uren licht, 16 uren donker) de melkproductie na afkalven stimuleert. Een korte daglengte tijdens de droogstand stimuleert

waarschijnlijk de ontwikkeling van het uierweefsel wat resulteert in een 8 á 9 procent hogere melkgift tijdens de eerste maanden van de lactatie. Op veel melkveebedrijven worden droge en melkgevende koeien echter in dezelfde stal gehouden: het aanbieden van twee verschillende lichtregimes is hier praktisch niet eenvoudig. Het hanteren van een beperkte verlichting tijdens de droogstand wordt in Nederland niet of nauwelijks toegepast of geadviseerd.

5. Conclusie

- Werkenden in stallen hebben behoefte aan een verlichtingssterkte van tenminste 30 lux. Bij werk dat precisie vergt, of wanneer veel in de donkere avonden wordt gewerkt, zijn hogere minimale verlichtingssterktes tot ca. 250 lux gewenst.
- Om te kunnen zien en natuurlijk gedrag te kunnen vertonen hebben jongvee en volwassen koeien voldoende licht nodig. Een verlichtingssterkte vanaf ongeveer 130 lux is hiervoor voldoende. Daarnaast hebben de dieren een dagelijkse donkerperiode (<5 lux) nodig van tenminste 6 uren om hun biologische klok te resetten. Koeien kunnen waarschijnlijk kleur zien, maar eventuele effecten van lichtkleur op de koe zijn onbekend.
- De ontwikkeling van jongvee wordt gestimuleerd door licht. Kalveren en pinken hebben daarvoor baat bij een daglengte van ca. 16 uren. Op grond van een zeer beperkt aantal studies naar effecten van licht op het afweersysteem of op het optreden van (infectie)ziekten bij koeien, kunnen nog geen uitspraken worden gedaan. De vruchtbaarheid van koeien wordt eveneens gestimuleerd door een lange daglengte van ca. 16 uren.
- De melkproductie van koeien kan met zo'n 8 á 9 procent worden gestimuleerd door de daglichtperiode buiten de zomermaanden met lamplicht te verlengen tot 16 uren licht (en 8 uren donker). Hiervoor is een verlichtingssterkte nodig van minimaal 150 lux, gemeten op dierniveau.

Aan de beschreven lichtbehoeften van ondernemer en koe wordt voldaan door tijdens de dagelijkse lichtperiode een verlichtingssterkte toe te passen van minimaal 150 lux en dagelijks een donkerperiode te hanteren van tenminste 6 uren bij een verlichtingssterkte beneden 5 lux. Dit kan worden bereikt door zowel TL lampen, natriumhogedruk- als metaalhalidelampen. De lampen dienen zo te worden opgehangen dat een gelijkmatige lichtverspreiding over de stal wordt bereikt en genoemde verlichtingssterkten op dierniveau worden gehaald.

6. Literatuur

- Auchtung, T.L., A.G. Rius, P.E. Kendall, T.B. McFadden, G.E. Dahl. 2005. Effects of photoperiod during the dry period on prolactin, prolactin receptor and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88, p. 121–127.
- Auchtung, T.L., J.L. Salak-Johnson, D.E. Morin, C.C. Mallard, G.E. Dahl. 2004. Effects of photoperiod during the dry period on cellular immune function of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87, p. 3683–3689.
- Biewenga, G. en A. Winkel. 2003. Licht nader belicht: effecten van licht op dierprestaties en gedrag van melkvee. *Praktijkonderzoek Veehouderij, PraktijkRapport Rundvee nummer 34.*
- Dahl, G.E., B.A. Buchanan, H.A. Tucker. 2000. Photoperiodic effects on dairy cattle: a review. *Journal of Dairy Science* 83, p. 885–893.
- Dahl, G.E., D. Petitclerc. 2003. Management of photoperiod in the dairy herd for improved production and health. *Journal of Animal Science* 81, p. 11–17.
- Dannenmann, K., D. Buchenauer, H. Fliener. 1985. The behaviour of calves under four levels of lighting. *Applied Animal Behaviour Science* 13, p. 243–258.
- Eiermann, U. 1978. Untersuchungen über die Sehschärfe beim Kalb in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke. *Dissertatie, Universiteit van Hohenheim, Duitsland.*
- Hansen, P.J., E.R. Hauser. 1984. Photoperiodic alteration of postpartum reproductive function in suckled cows. *Theriogenology* 22, Nr. 1, p. 1–14.
- Hansen, P.J. 1985. Seasonal modulation of puberty and the postpartum anestrus in cattle: a review. *Livestock Production Science* 12, p. 309–327.
- Jacobs, G.H. 1993. The distribution and nature of color vision among the mammals. *Biological Reviews* 68, p. 413–471.
- Jacobs, G.H., J.F. Deegan, J. Neitz. 1998. Photopigment basis for dichromatic color vision in cows, goats and sheep. *Visual Neuroscience* 15, p. 581–584.

- Miller, A.R.E., R.A. Erdman, L.W. Douglass, G.E. Dahl. 2000. Effects of photoperiodic manipulation during the dry period of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83, p. 962–967.
- Peters, R.R., L.T. Chapin, K.B. Leining, H.A. Tucker. 1978. Supplemental lighting stimulates growth and lactation in cattle. *Science* 199, p. 911–912.
- Phillips, C.J.C., L. Weiguo. 1991. Brightness discrimination abilities of calves relative to those of humans. *Applied Animal Behavior Science* 31, p. 25–33.
- Phillips, C.J.C., I.D. Morris, C.A. Lomas, S.J. Lockwood. 2000. The locomotion of dairy cows in passageways with different light intensities. *Animal Welfare* 2000, 9, p. 421–431.
- Phillips, C.J.C., C.A. Lomas. 2001. The perception of color by cattle and its influence on behavior. *Journal of Dairy Science* 84, p. 807–813.
- Velasco, J.M., E.D. Reid, K.K. Fried, T.F. Gressley, R.L. Wallace, G.E. Dahl. Short-day photoperiod increases milk yield in cows with a reduced dry period length. *Journal of Dairy Science* 91, p. 3467–3473.
- Wall, E.H., T.L. Auchtung, G.E. Dahl, S.E. Ellis, T.B. McFadden. 2005. Exposure to short day photoperiod during the dry period enhances mammary growth in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88, p. 1994–2003.

Bijlage 3: Rapport "Lichtemissie metingen van 4 melkveestallen in Friesland", door TNO

Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 30 00
F +31 88 866 30 10
wegwijzer@tno.nl

TNO-rapport

034-DTM-2010-04289

**Lichtemissiemetingen van vier melkveestallen in
Friesland**

Datum	10 november 2010
Auteur(s)	Jan Ruigrok Egon Janssen
Opdrachtgever	LTO Noord T.a.v. de heer J. Kingma Postbus 186 9200 AD DRACHTEN
Projectnummer	034.22849/01.04
Aantal pagina's Aantal bijlagen	20 (incl. bijlagen)

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Woordenlijst

Woord	Betekenis
achtergrondluminantie	Luminantie (helderheid) van de hemel wanneer dat niet wordt aangestraald wordt door het licht van de stal (in cd/m^2).
candela	SI-eenheid van lichtsterkte (symbool cd). Dit is de hoeveelheid licht dat vanuit een bepaalde richting op een bepaald vlak valt.
C-factor	Contrast factor. Verhouding tussen de luminanties van de hemel boven een stal als de verlichting van de stal aan en uit is ($\text{C-factor} = L_{\text{aan}}/L_{\text{uit}}$).
diffuus	In alle richtingen teruggekaatst.
emissie	Uitzending van licht of electromagnetische straling in het algemeen.
Gloed / Sky-glow	(oranje) lichtschijnsel boven een sterk verlicht gebied, veroorzaakt door vochtdeeltjes in de lucht boven het gebied. Het uiterlijk van de gloed is afhankelijk van de meteorologische condities.
illuminantie	Synoniem van verlichtingssterkte.
lichtspectrum	Verdeling van de energie over de zichtbare golflengten van elektromagnetische straling. Wordt verkregen door de ontbinding/ ontleding van licht door bijvoorbeeld een glazen prisma.
lichtsterkte	Hoeveelheid licht dat een lichtbron in een bepaalde richting verlaat. De lichtsterkte wordt uitgedrukt in candela (cd).
lumen	Lichtstroom, symbool lm. Dit is een maat die aangeeft hoeveel licht een lamp verlaat/ licht dat vanuit een bepaalde lichtbron afkomstig is.
luminantie	Een maat voor de helderheid van een oppervlak. Dit is de hoeveelheid licht die per oppervlakte-eenheid wordt uitgestraald of weerkaatst (cd/m^2).
luminantiecamera	Meetinstrument om luminanties en luminantieverschillen te bepalen, met behulp van foto's, waarbij van iedere pixel in de foto de luminantie wordt gemeten.
Lux	Hoeveelheid licht dat vanuit alle richtingen op een bepaald vlak valt.
luxmeter	Meetinstrument om de verlichtingssterkte (lx) te bepalen.
Verlichtingssterkte (lx)	Maat voor de hoeveelheid licht dat op een vlak valt, eenheid lux, symbool lx. Ook wel uitgedrukt in lm/m^2 .

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Meetmethode	5
2.1	Gevel luminantie.....	5
2.2	Hemelmeting.....	6
3	Meetresultaten	8
3.1	Gevelluminantie.....	8
3.2	Hemelmeting.....	14
4	Conclusies	17
5	Aanbevelingen	20

1 Inleiding

TNO Bouw en Ondergrond heeft in opdracht van LTO Noord metingen verricht aan de lichtuitstoot van melkveestallen in Friesland. Doel van de metingen is het in kaart brengen van de lichtemissie van melkveestallen en om te kijken wat de effecten zijn van schermdoeken. Hiervoor zijn op vier locaties twee verschillende metingen uitgevoerd.

De stallen zijn door hun verlichting en ligging vanaf een afstand 's nachts goed zichtbaar. Met behulp van een luminantiecamera kan de luminantie (helderheid) van de gevel worden gemeten. Bij vier verschillende typen melkveestallen wordt deze meting uitgevoerd met zowel het scherm open als het scherm dicht.

In gebieden met veel lichtuitstoot wordt ook de hemel meer verlicht, resulterend in een gelige gloed, ook wel sky glow genoemd. Als een gevolg hiervan zijn bijvoorbeeld de sterren 's nachts minder goed zichtbaar. TNO heeft een meting ontwikkeld om te bepalen in hoeverre een lichtbron bijdraagt aan de verlichting van de hemel in vergelijking met de andere lichtbronnen. Hierbij wordt de luminantie van de hemel gemeten met een camera die recht omhoog kijkt. De meting is in twee situaties uitgevoerd. De eerste situatie is wanneer de verlichting van de stal aan staat en de tweede meting is wordt gedaan wanneer de verlichting uit staat. Het verschil tussen de twee metingen is een waarde voor de mate waarin de verlichting van de stal bijdraagt aan de totale lichtemissie van een gebied.

Dit rapport beschrijft de gebruikte meetmethodes en de resultaten van het onderzoek. De resultaten van dit onderzoek worden gebruikt in een breder project uitgevoerd door LTO Noord i.s.m. Wageningen UR Live stock Research, Wageningen UR glastuinbouw, TNO Bouw en Ondergrond, Projecten LTO Noord en LTO Vastgoed naar de lichtuitstoot van melkveestallen en de mogelijkheden om de effecten hiervan te verminderen.

2 Meetmethode

2.1 Gevel luminantie

Lichthinder is een subjectief probleem, dit verschilt sterk van persoon tot persoon. De mate waarin personen hinder ondervinden van een bepaalde hoeveelheid licht kan afhangen van aspecten zoals: leeftijd, relatie tot de lichtbron, verwachtingspatroon en opvoeding. In het geval van verlichte stallen kan één van de oorzaken gevonden worden in het feit dat mensen een verlichte stal niet thuis vinden horen in een landschappelijke omgeving. Waar in stedelijke gebieden verlichting 's nachts min of meer geaccepteerd is, verwacht men dat het in de buitengebieden 's nachts donker is. Mede door het feit dat het hier ook donkerder is zal een verlicht gebouw beter opvallen en hierdoor eerder hinder/irritatie geven.

De schermen die in de stallen worden gebruikt hebben als doel de wind te breken wanneer deze te sterk wordt, het buiten houden een van koe of ter bescherming tegen direct zonlicht. Als bijkomend effect vermindert dit scherm ook de lichtuitstoot van de stal. Door middel van luminantiemetingen aan de gevel wordt gemeten wat de helderheid van de gevel is en wat het effect is van de gevelschermen.

De luminantiemetingen worden gemaakt met een luminantiecamera van TechnoTeam (LMK 96-2). Dit is een gekalibreerde industriële camera die digitale foto's maakt. In plaats van kleureninformatie bevat elke pixel informatie over de luminantie.

Bij iedere stal worden er op twee afstanden een serie metingen uitgevoerd. De eerste serie metingen wordt gedaan op een afstand van +/- 15 meter. De luminantiecamera wordt loodrecht op de gevel gericht. Er worden dan twee metingen uitgevoerd. Één met de gevelschermen open en één met de gevelschermen gesloten. Dezelfde procedure wordt gevolgd op een afstand van ongeveer 150 meter.



Figuur 1. Luminantiecamera die een meting doet van de gevel van een stal.

2.2 Hemelmeting

In bebouwde gebieden wordt de hemel meer verlicht door lichtuitstoot van bijvoorbeeld industrie of straatverlichting. Als gevolg hiervan is het mogelijk dat sterren minder goed zichtbaar zijn dan in donkere gebieden. Door foto's te maken van de hemel kan gemeten worden hoeveel de hemel verlicht wordt. De mate van verlichting van de gevel is niet alleen afhankelijk van de feitelijke hoeveelheid lichtuitstoot. Weerseffecten zijn ook van invloed op de luminantie van de hemel. Met laag hangende bewolking zal meer van het uitgestoten licht gereflecteerd worden in de richting van de waarnemer.

Om de bijdrage van een afzonderlijke lichtbron (bijvoorbeeld een stal) te kunnen meten moeten twee metingen worden uitgevoerd. Er wordt een meting verricht met de verlichting aan en één meting met de verlichting uit. Door de twee te vergelijken kan er bepaald worden wat de bijdrage van de specifieke lichtbron is aan de sky glow van een gebied. Omdat dit effect sterk afhankelijk is van de weersinvloeden zal deze bepaald worden bij verschillende weersomstandigheden om zo een gemiddelde te bepalen.

Om de meting te kunnen uitvoeren wordt er een camera naast de stal geplaatst welke omhoog kijkt naar de hemel boven de stal. De camera is aangesloten op een computer die de camera bedient en de bestanden opslaat. Elke nacht worden er een bepaalde tijd foto's genomen van de hemel boven de stal. De tijd is zo ingesteld dat er in deze periode minimaal één set foto's is waarbij het licht van de stal aan is en één set foto's waarbij het licht van de stal uit is. Een set foto's bestaat uit 9 foto's met verschillende belichtingstijden, om zo het bereik tussen licht en donker te vergroten.

Naderhand wordt van iedere nacht de luminantie van de hemel bepaald voor de situatie met het licht van de stal aan en uit. Daarna kunnen de waarden met elkaar vergeleken worden om het aandeel van de stal aan de indirecte lichtvervuiling van een bepaald gebied te bepalen.



Figuur 2. Camera opgesteld naast de stal zodat 's nachts foto's van de hemel kunnen worden genomen.

3 Meetresultaten

3.1 Gevelluminantie

3.1.1 Bedrijf 1

Bedrijf 1 is een zadeldak ligboxstal van 44 bij 32 meter met een nok- en goothoogte van respectievelijk 11,8 en 3,7 meter. In de stal hangen 8 metaalhalide armaturen op een hoogte van ca. 7,5 meter verdeeld in twee rijen van 4.

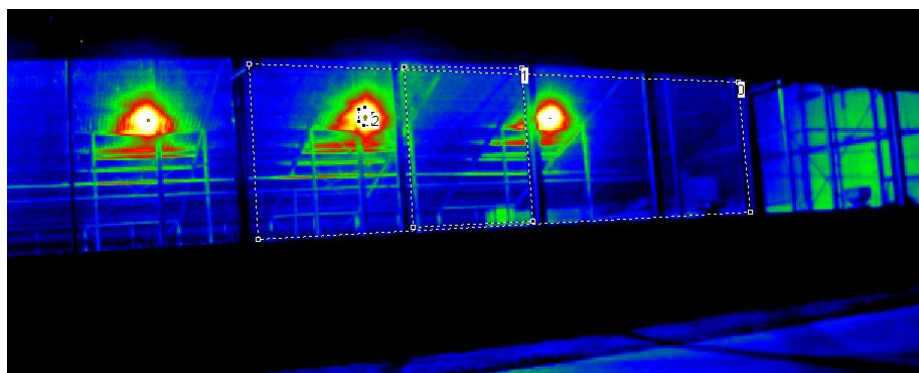
Naast het vogelgaas kan de gevel worden afgeschermd met een transparant wit doek.

In tabel 1 staan de metingen die zijn uitgevoerd bij deze stal. De meting is verricht met het scherm open en het scherm dicht. Bij de evaluatie zijn drie vlakken geselecteerd waarvan de luminantie is bepaald. Tevens is er een meting van de luminantie van de gevel op een grotere afstand uitgevoerd.

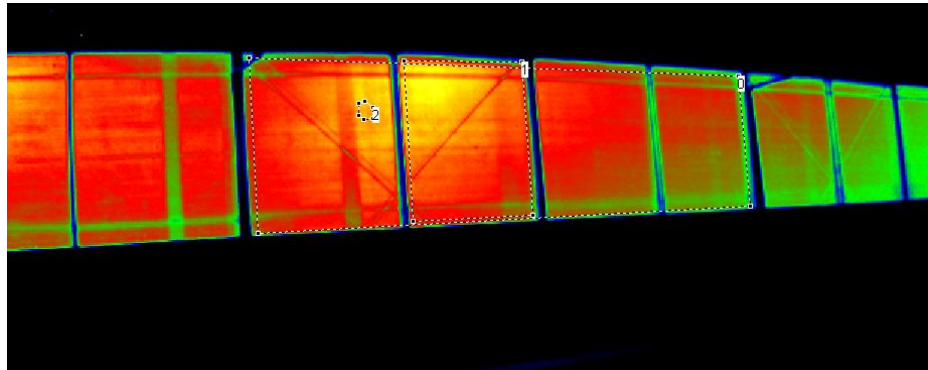
- Gevel: Het open gedeelte van de gevel tussen twee kolommen, waarbij onder andere zicht is op twee lampen (zie selectie 0 in figuur 3 en 4).
- Lamp: Het gedeelte van de gevel waarbij direct zicht is op een lamp (zie selectie 2 in figuur 3 en 4).
- Gevel – lamp: Een gedeelte van de gevel waarbij geen direct zicht is op de lamp (zie selectie 1 in figuur 3 en 4).
- Ver weg: meting van de luminantie van de gevel op een afstand van circa 150 meter i.p.v. 15 m.

Tabel 1. Meetresultaten van de metingen van de gevel bij bedrijf 1.
Verlichtingsterkte gemeten in Cd/m²

	Gevel	Lamp	Gevel – lamp	Ver weg
Open	13.95	1951	1.59	1.248
Dicht	8.89	15.2	11.92	3.622



Figuur 3. Luminantiebeeld van ligboxstal van bedrijf 1 met het gevelscherm open.



Figuur 4. Luminantiebeeld van de ligboxstal van bedrijf 1 met het gevelschem gesloten.

3.1.2 *Bedrijf 2*

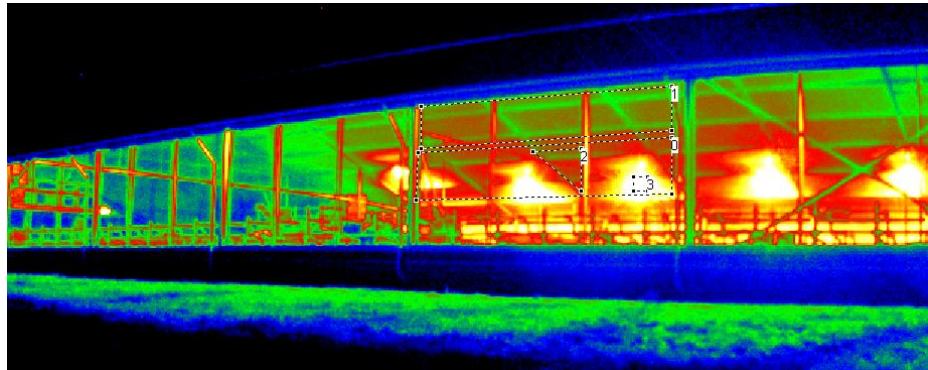
Bedrijf 2 is een nieuwe zadeldak ligboxstal van 66 bij 36 meter met een nok- en goothoogte van respectievelijk 12 en 4,5 meter. In de stal hangen 12 hoge druk natrium-armaturen op een hoogte van ca. 5,5 meter verdeeld in twee rijen van 6. Naast het vogelgaas kan de gevel worden afgeschermd met een doek wat aan de bovenkant bestaat uit een transparant wit doek en aan de onderkant bestaat uit een lichtdicht groen doek.

In tabel 2 staan de metingen die zijn uitgevoerd bij deze stal. De meting is verricht met het scherm open, het scherm gesloten en half gesloten. Bij de evaluatie zijn vier vlakken geselecteerd waarvan de luminantie is bepaald. Tevens is er een meting van de luminantie van de gevel op een grotere afstand uitgevoerd.

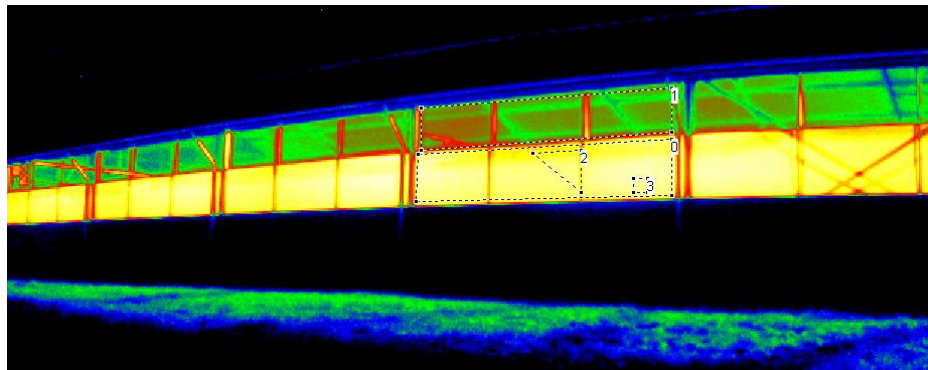
- Gevel doek: Het gedeelte van de gevel tussen twee kolommen waarbij bij sluiting het transparante gedeelte van het scherm zit (zie selectie 0 in figuur 5 en 6).
- Lamp: Het gedeelte van de gevel waarbij direct zicht is op een lamp (zie selectie 3 in figuur 5 en 6).
- Doek – lamp: Een gedeelte van de gevel waarbij geen direct zicht is op de lamp (zie selectie 2 in figuur 5 en 6).
- Open gevel: Het gedeelte van de gevel tussen twee kolommen waarbij bij sluiting van het scherm nog een gedeelte open is (zie selectie 1 in figuur 5 en 6).
- Ver weg: meting van de luminantie van de gevel op een afstand van circa 150 meter i.p.v. 15 m. In deze meting is de gevel geheel gesloten.

Tabel 2. Meetresultaten van de metingen van de gevel van bedrijf 2, waarbij het scherm gedeeltelijk was gesloten. Verlichtingsterkte gemeten in Cd/m²

	Gevel doek	Lamp	Doek – lamp	Open gevel
Open	161	4245	6.171	5.196
Dicht	30.87	3641	27.42	4.845



Figuur 5. Luminantiebeeld van de ligboxstal van bedrijf 2 met het gevelschem geopend.



Figuur 6. Luminantiebeeld van de ligboxstal van bedrijf 2 met het gevelschem half gesloten.

Er is ook een meting verricht met het scherm volledig gesloten. Doordat er slechts een gedeelte van het doek transparant is, is bij deze meting een ander gedeelte van de gevel vergeleken.

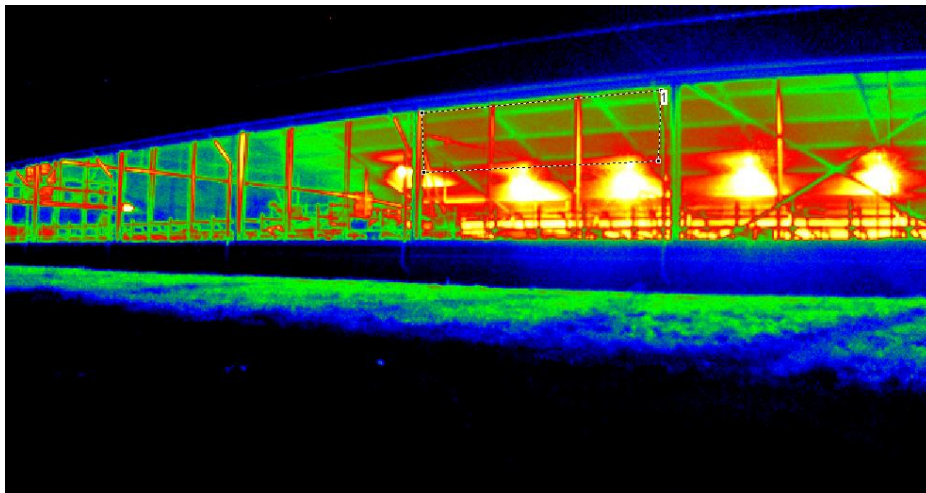
Bij de metingen bij de stal is bij dit gedeelte van de gevel is geen direct zicht op de lampen. Hierdoor is de gemiddelde luminantie van deze meting bij een open scherm lager.

Vanaf het meetpunt is er geen direct zicht op de lampen die aan deze kant van de stal hangen. Doordat het transparante deel nu hoger zit is de hoeveelheid licht dat door het scherm komt groter dan in de situatie waarbij het scherm half is gesloten.

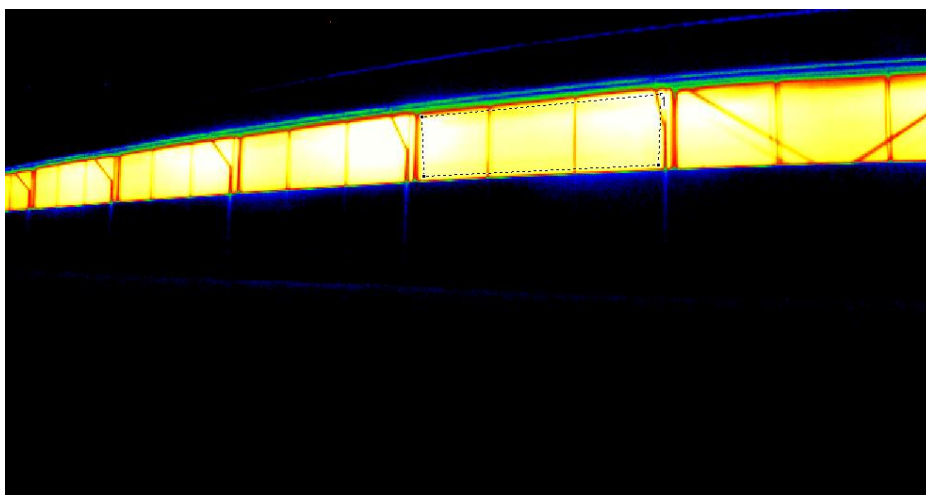
Bij de meting op circa 150 meter van de stal is de luminantie gemeten met het scherm volledig open en volledig gesloten. Bij deze meting was er wel direct zicht op de achterste rij lampen. Dit kan verklaren waarom de zichtbaarheid van deze stal niet veel toeneemt bij het sluiten van het gevelschem.

Tabel 3. Meetresultaten van de metingen van de gevel van bedrijf 2, waarbij het gevelschem geheel is gesloten, waarbij het bovenste gedeelte transparant is en het onderste gedeelte niet. Verlichtingsterkte gemeten in Cd/m²

	Gevel doek	Ver weg
Open	6.1	28.27
Dicht	38.7	33.38



Figuur 7. Luminantiebeeld van de ligboxstal van bedrijf 2 met het gevelschem geopend.



Figuur 8. Luminantiebeeld van de ligboxstal van bedrijf 2 met het gevelschem volledig gesloten.

3.1.3 *Bedrijf 3*

Bedrijf 3 is een serrestal van 54 bij 31 meter met een nok- en goothoogte van respectievelijk 7 en 5 meter. In de stal hangen 23 TL-armaturen op een hoogte van ca. 4,5 meter verdeeld in vier rijen.

Naast het vogelgaas kan de gevel worden afgeschermd met een transparant lumitherm winddoek.

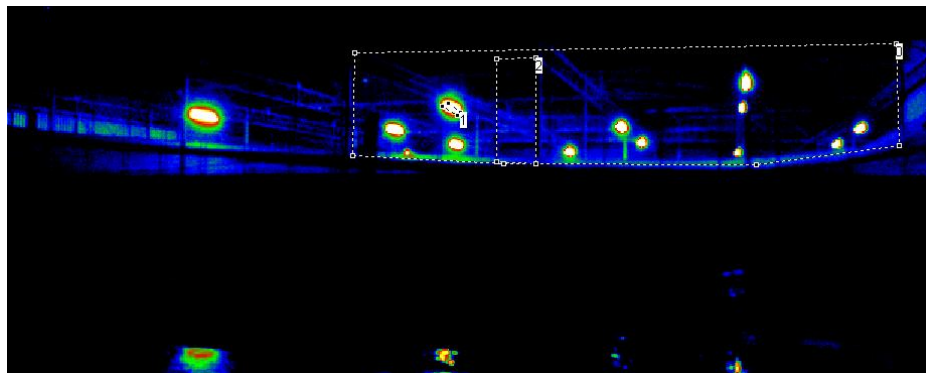
In tabel 4 staan de metingen die zijn uitgevoerd bij deze stal. De meting is verricht met het scherm open en het scherm dicht. Bij de evaluatie zijn drie vlakken geselecteerd waarvan de luminantie is bepaald. Tevens is er een meting van de luminantie van de gevel op een grotere afstand uitgevoerd.

- Gevel: Het open gedeelte van de gevel tussen twee kolommen (zie selectie 0 in figuur 9 en 10).

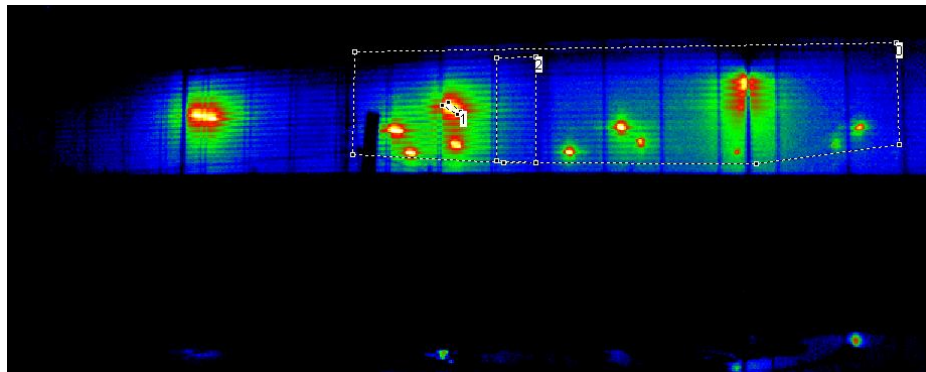
- Lamp: Het gedeelte van de gevel waarbij direct zicht is op een lamp (zie selectie 1 in figuur 9 en 10).
- Gevel – lamp: Een gedeelte van de gevel waarbij geen direct zicht is op de lamp (zie selectie 2 in figuur 9 en 10).
- Ver weg: meting van de luminantie van de gevel op een afstand van circa 150 meter i.p.v. 15 m.

Tabel 4. Meetresultaten van de metingen van de gevel van bedrijf 3.
Verlichtingsterkte gemeten in Cd/m²

	Gevel	Lamp	Gevel – lamp	Ver weg
Open	4.527	659	0.6884	0.7668
Dicht	2.182	42.03	1.438	1.604



Figuur 9. Luminantiebeeld van de serre van bedrijf 3 met het gevelscherm open.



Figuur 10. Luminantiebeeld van de ligbox van bedrijf 3 met het gevelscherm gesloten.

3.1.4 Bedrijf 4

Bedrijf 4 is een serre van 45,5 bij 20,5 meter met een nok- en goothoogte van respectievelijk 7 en 5 meter. In de stal hangen 8 metaalhalide lampen in één rij op een hoogte van ca. 6 meter verdeeld.

De gevel kan worden afgeschermd met een lichtdicht groen winddoek.

In tabel 5 staan de metingen die zijn uitgevoerd bij deze stal. De meting is alleen verricht met het scherm open, omdat de stal met het scherm dicht nauwelijks lichtuitstoot heeft. Om deze reden is de meting met scherm dicht niet uitgevoerd.

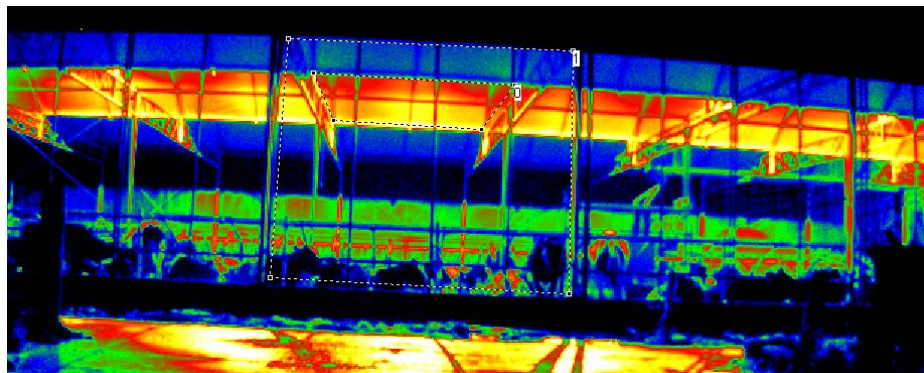
Tevens is er een meting van de luminantie van de gevel op een grotere afstand uitgevoerd.

- Gevel: Het open gedeelte van de gevel tussen twee kolommen (zie selectie 1 in figuur 11).
- Kap: Een gedeelte van de gevel waarbij zicht is op het verlichte gedeelte van kap (zie selectie 0 in figuur 11).
- Ver weg: meting van de luminantie van de gevel op een afstand van circa 150 meter i.p.v. 15 m.

In de meting was geen direct zicht op de lampen, om deze reden zijn daarvan geen meetwaarde gegeven.

Tabel 5. Meetresultaten van de metingen van de gevel van bedrijf 4.
Verlichtingsterkte gemeten in Cd/m²

	Gevel	Kap	Ver weg
Open	4.784	14.32	12.31



Figuur 11. Luminantiebeeld van de ligboxstal van bedrijf 4 met het gevelscherm open.

3.1.5 Referentiemeting industrieverlichting

In een buitengebied in Friesland langs een N-weg is de verlichtingssterkte van een fabrieksgebouw gemeten. Het licht dat hier gebruikt wordt, wordt gebruikt voor onder andere de veiligheid (verlichting van weg en binnenkant fabriek), maar ook voor zichtbaarheid voor passanten (reclamebord op het dak).

In tabel 6 staan de resultaten van de meting zoals deze is uitgevoerd bij het industriegebouw. De meting is uitgevoerd op een afstand van ongeveer 25 meter vanaf de gevel van het gebouw.

- Gevel: luminantie van de gevel waar alleen muur is (zie selectie 2 in figuur 12).
- Raam: luminantie van het raam en de achterliggende fabrieksruimte (zie selectie 3 in figuur 12).
- Reclame: luminantie van het reclamebord wat geplaatst is op het dak van het gebouw (zie selectie 1 in figuur 12).
-

Tabel 6. Meetresultaten van de metingen van het industriegebouw. Verlichtingsterkte gemeten in Cd/m²

	Gevel	Raam	Reclame
Industriegebouw	0.21	26.0	100.0



Figuur 12. Luminantiebeeld van een industriegebouw langs een N-weg in een buitengebied in Friesland.

3.2 Hemelmeting

Om de bijdrage van de stallen aan de verlichting van de hemel te kunnen meten zijn er bij de stallen permanente opstellingen neergezet. Deze camera's maken iedere nacht een serie foto's van de hemel. Dit gebeurt zowel als het licht aan is als wanneer het licht van de stallen uit is. Het verschil in lichtsterkte op de foto's met licht aan en uit is een maat voor de bijdrage van de stal aan de totale lichtuitstoot van een gebied.

Na analyse van de eerste beelden bleek 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.

De hoeveelheid licht wat in een stal wordt gebruikt is beperkt. Daarnaast komt het merendeel van het licht via de gevel naar buiten. Hierdoor zal het licht via de grond worden gereflecteerd voordat het naar de hemel straalt. Dit geeft een vermindering van de intensiteit, ten opzichte van een lamp die direct naar de hemel schijnt. Wanneer de lichtintensiteit in de stal omhoog gaat of wanneer de transparantie zou toenemen kan sky glow alsnog voor hinder zorgen. Gezien het minieme effect van de stallen op de sky glow moet de lichtuitstoot sterk toenemen om waarneembaar te kunnen zijn.

Door een lage resolutie en een niet optimale scherpte was het niet mogelijk om de sterren met de camera te registreren. Door een extra breking, als gevolg van de behuizing en eventueel een water laagje, was er een onscherp beeld. Het licht van de sterren werd hierdoor over meerdere pixels uitgespreid waardoor deze niet meer meetbaar werden. Hierdoor kon niet worden beoordeeld of dat er echt geen verschil zit in de metingen of dat de camera's niet goed hebben gewerkt. Hierom is ervoor besloten

de metingen één maal uit te voeren met een luminantiecamera die ook is gebruikt voor de metingen van de gevel.

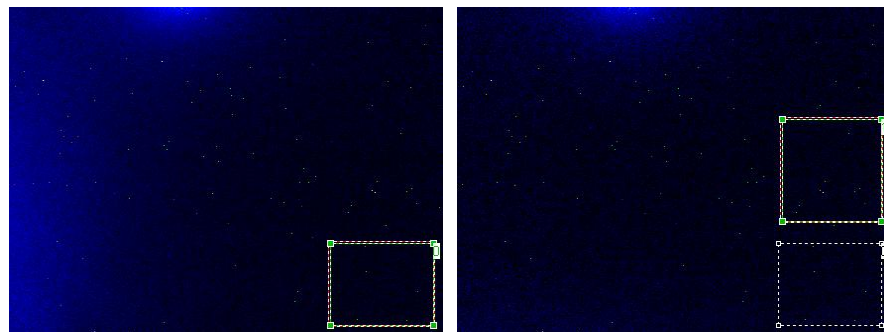
Hoewel bij de metingen die zijn gedaan met de luminantiecamera wel sterren te zien zijn, is ook hier geen verschil gemeten tussen de luminantie van de hemel wanneer het licht van de stallen aan of uit staat.

Hierdoor kan geconcludeerd worden dat er inderdaad geen waarneembare sky glow wordt veroorzaakt door de stallen.

Tabel 7. De gemiddelde luminantie van de hemel, zoals deze is gemeten met de luminantiecamera. Verlichtingsterkte gemeten in Cd/m²

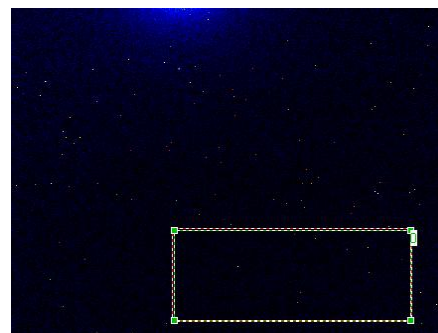
	Licht uit	Licht aan
Bedrijf 1	0.007364	0.007353 (-0.1%)
Bedrijf 2	0.004738	-
Bedrijf 3	0.005539	0.005589 (+0.9%)
Bedrijf 4	0.005869	0.005916 (+0.8%)

Er is geen meting bij bedrijf 2 verricht met licht aan, omdat deze tijdens de meting niet kon worden aangezet.

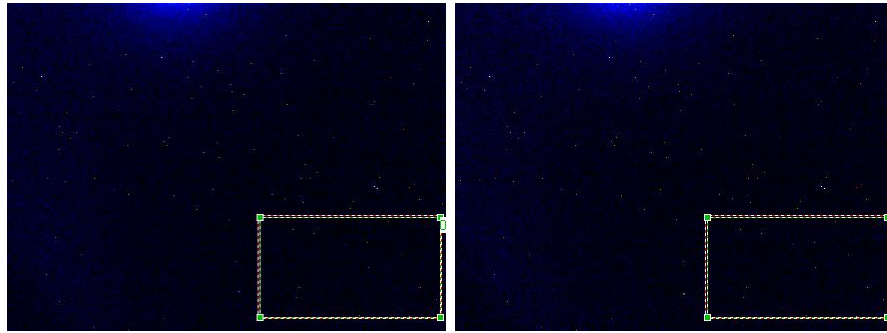


Figuur 13. Luminantiebeeld van de hemel boven bedrijf 1 met A: licht aan, B: licht uit. Opmerking. In figuur A is nog een gloed te zien van de ondergaande zon.

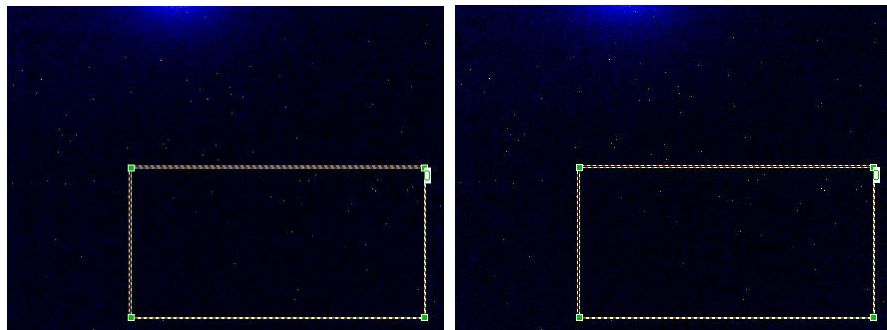
Geen meting



Figuur 14. Luminantiebeeld van de hemel boven bedrijf 2 met licht uit.



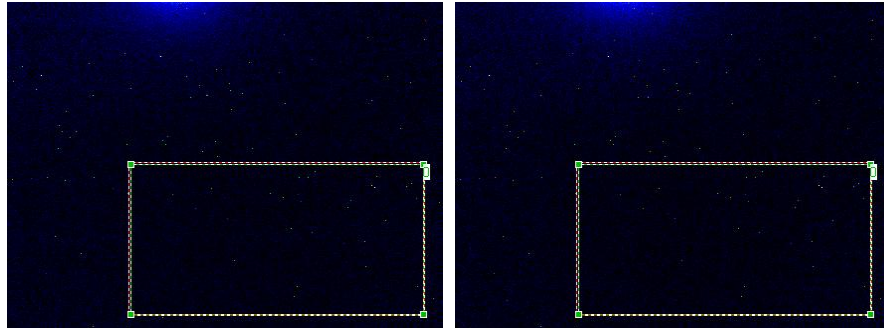
Figuur 15. Luminantiebeeld van de hemel boven bedrijf 3 met A: licht aan, B: licht uit.



Figuur 16. Luminantiebeeld van de hemel boven bedrijf 4 met A: licht aan, B: licht uit.

4 Conclusies

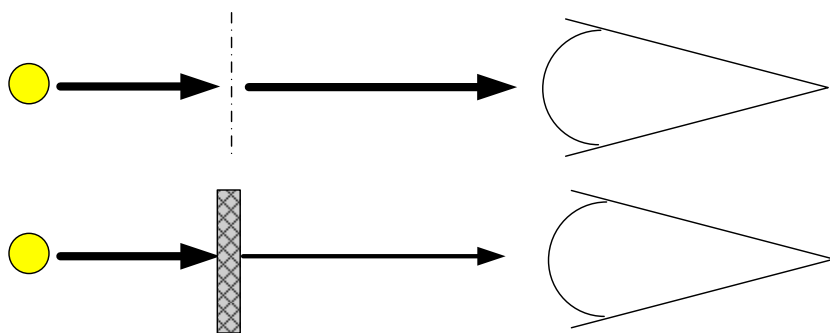
De lichtuitstoot die stallen veroorzaken wordt voornamelijk veroorzaakt door licht dat door de gevel naar buiten uitstraalt. Doordat de stallen afgelegen en in een donkere omgeving liggen kan dit tot in de wijde omtrek worden waargenomen. De luminantie van de hemel boven een bepaald gebied wordt niet veranderd door de verlichting van een stal. Wanneer er geen direct zicht op de stal is zal deze waarschijnlijk ook niet als hinderlijk worden ervaren.



Figuur 17. Luminantiebeeld van de hemel boven bedrijf 4. Geen verschil in luminantie van de hemel wanneer het licht in de stal aan (links) of uit (rechts) is.

De gebruikte doeken in de stallen waar de metingen zijn uitgevoerd (lumitherm en het transparant witte doek) houden een deel van het licht tegen. Daarnaast wordt het deel van het licht dat er wel door heen komt diffuus (in alle richtingen) uitgestraald. Dit heeft de volgende effecten:

- Wanneer er direct zicht is op een lichtbron dan vermindert het doek de luminantie die uit die richting komt (zie figuur 18). Bij de gemeten doeken in de bedrijven 1 en 2 (transparant wit doek) kwam nog slechts 0,8% van het licht door. Bij het lumitherm doek (Bedrijf 3) was dit 6,3%.

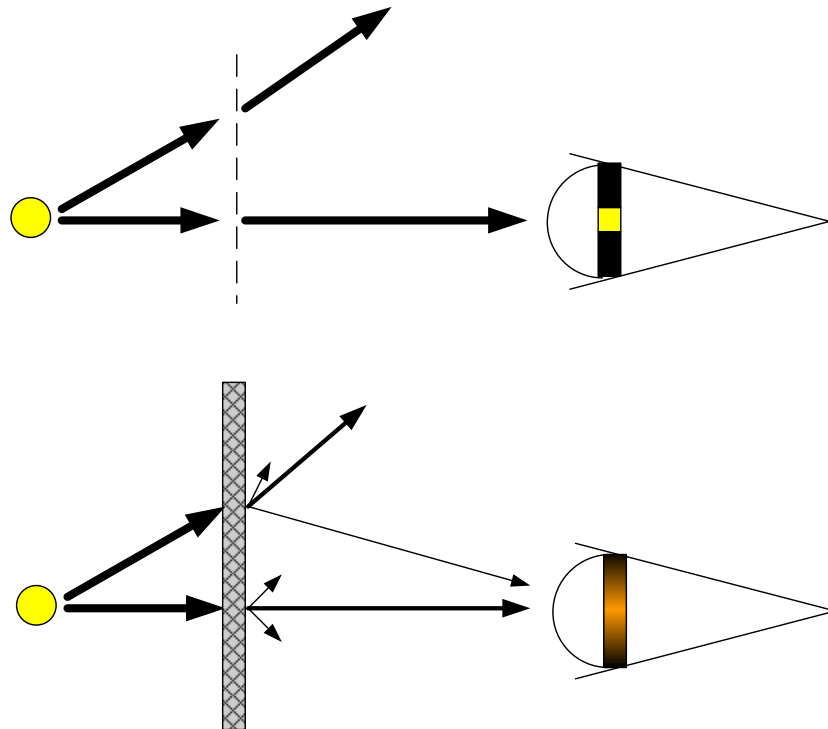


Figuur 18. Het schermdoek vermindert de hoeveelheid licht dat van een bepaalde lichtbron direct in het oog komt.

- De schermen hebben een diffuserende werking (met name het transparante witte doek en in mindere mate het lumithermdoek). Dit betekent dat het licht dat vanuit de lampen, onder een bepaalde hoek, op het doek in alle richtingen wordt verspreid. Als gevolg wordt de gevel als één lichtgevend scherm

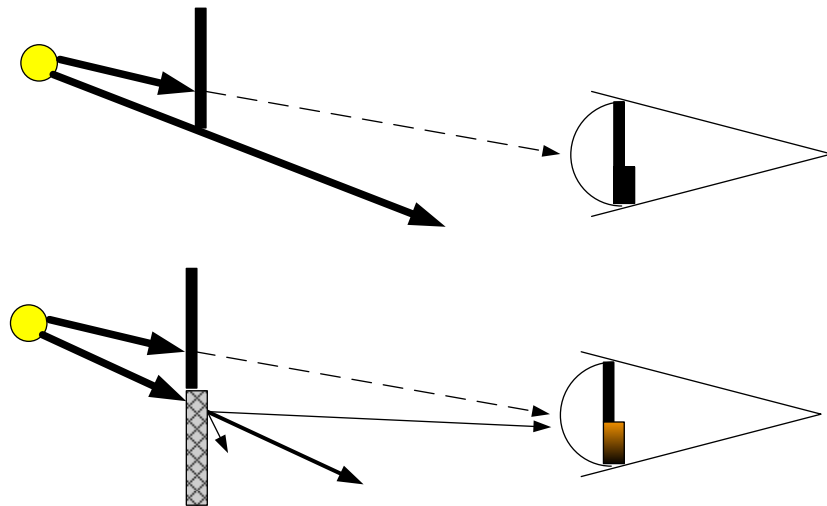
waargenomen wanneer de lampen aan staan. Wanneer het scherm is geopend zijn alleen de relatief felle lampen te zien terwijl de rest van de stal relatief donker is in vergelijking met het gesloten scherm.

In figuur 19 is schematisch weergegeven hoe dit principe werkt.



Figuur 19. Weergave van de diffusierende werking van een schermdoek. Zonder doek of met een niet diffuus transparant doek, zie je een fel verlicht punt (lamp). Met een doek komt er ook een deel van het licht dat op andere punten door het scherm komt bij de waarnemer (Het verspreidt zich over een groter gedeelte).

- De diffusierende werking van het transparante witte doek (en in mindere mate het lumitherm doek) kan tot gevolg hebben dat een stal die met scherm open nauwelijks zichtbaar is, maar met een gesloten scherm wel zichtbaar is. Als de lampen zo zijn opgehangen dat ze vanuit het oogpunt van de waarnemer niet direct zichtbaar zijn, zal er weinig licht van de stal de waarnemer bereiken. Wanneer het scherm echter wordt gesloten zal alsnog een deel van het licht zichtbaar worden voor de waarnemer. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in figuur 20.



Figuur 20. Wanneer het directe zicht op de lamp is ontnomen bereikt het directe licht niet de waarnemer. In de onderste situatie wordt licht dat zonder afscherming niet zou worden waargenomen door het diffuserende scherm afgebogen richting waarnemer.

- Bij alle metingen die gedaan zijn op ongeveer 15 meter afstand van de gevel is de gemiddelde luminantie van de gevel minder bij een gesloten scherm. Door het sluiten van het scherm wordt de luminantie nog slechts 20 tot 60% van de luminantie bij een open scherm.
- Op een afstand van ongeveer 150 m heeft het sluiten van het doek (het transparante witte doek en in mindere mate het lumitherm doek) een omgekeerd effect. Hierdoor kan de gemiddelde luminantie van de gevel toenemen met ongeveer 100% (Bedrijven 1 en 3). Grootste oorzaak van dit verschil met de metingen van een afstand van 15 meter is dat op 150 m geen zicht is op de lampen.
Ditzelfde effect is waarneembaar bij metingen op korte afstand wanneer er geen direct zicht is op de lampen.
Bij de meting bij bedrijf 2 was er op een afstand van 150 m nog wel zicht op de lampen. Dit is één van de oorzaken waarom er bedrijf 2 (bij een afstand van 150 m) geen verschil is gemeten tussen de luminantie met scherm open of scherm dicht
- Wanneer de lichtuitstoot van de stallen onderling wordt vergeleken blijkt dat de stal van bedrijf 2 de meeste lichtuitstoot geeft. Dit stemt overeen met de resultaten van de bedrijfsbezoeken. Hieruit was gebleken dat in bedrijf 2 het grootste vermogen aan verlichtingsarmaturen hangt.

5 Aanbevelingen

- Direct zicht op de lampen vanaf de openbare weg moet voorkomen worden. Dit heeft met name effect als er geen diffuus scherm wordt gebruikt.
- Gevelschermen met dezelfde transmissie, maar met een lagere diffuse waarde hebben waarschijnlijk een positief effect op de zichtbaarheid van de stallen.
- Indien mogelijk heeft het gebruik van een scherm dat geen licht doorlaat de voorkeur.
- Naast het gebruik van schermen kunnen de gevels ook worden afgeschermd met bossages. Wanneer deze beplanting het directe zicht op de gevel vanaf de openbare weg beperkt zullen waarschijnlijk minder mensen hinder ervaren van de lichtuitstoot.
- Het gebruik van lamellen (voorstel WUR) om de lichtuitstoot slechts in één richting toe te staan, kan ook de hinder verminderen. Bij verticaal geplaatste lamellen moet er rekening mee gehouden worden dat de lichtuitstoot niet in de richting van de openbare gebieden moet worden gericht.

Bijlage 4: Rapport Simulaties, door Wageningen UR Glastuinbouw

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
Internet: 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).

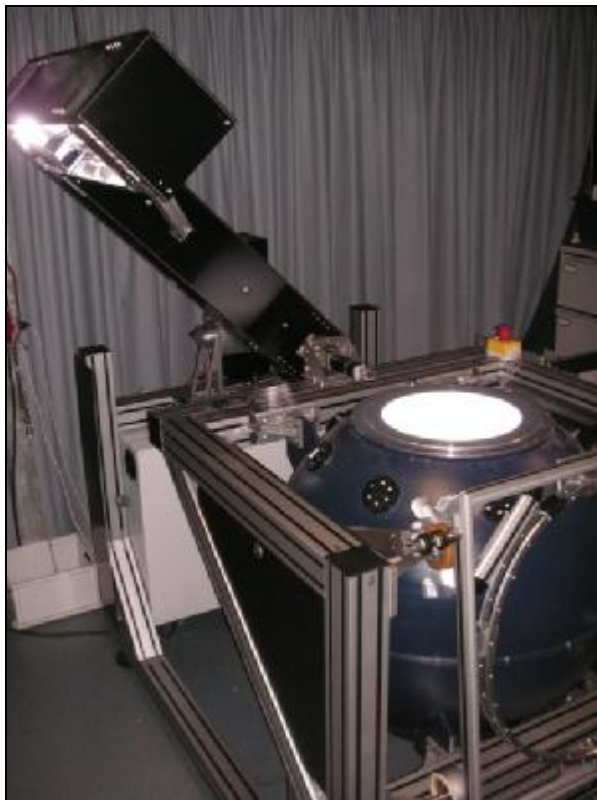


Fig 1. Transvision apparatuur voor het meten van de optische eigenschappen van transparante materialen en specifiek kasdek- en schermmaterialen.

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.

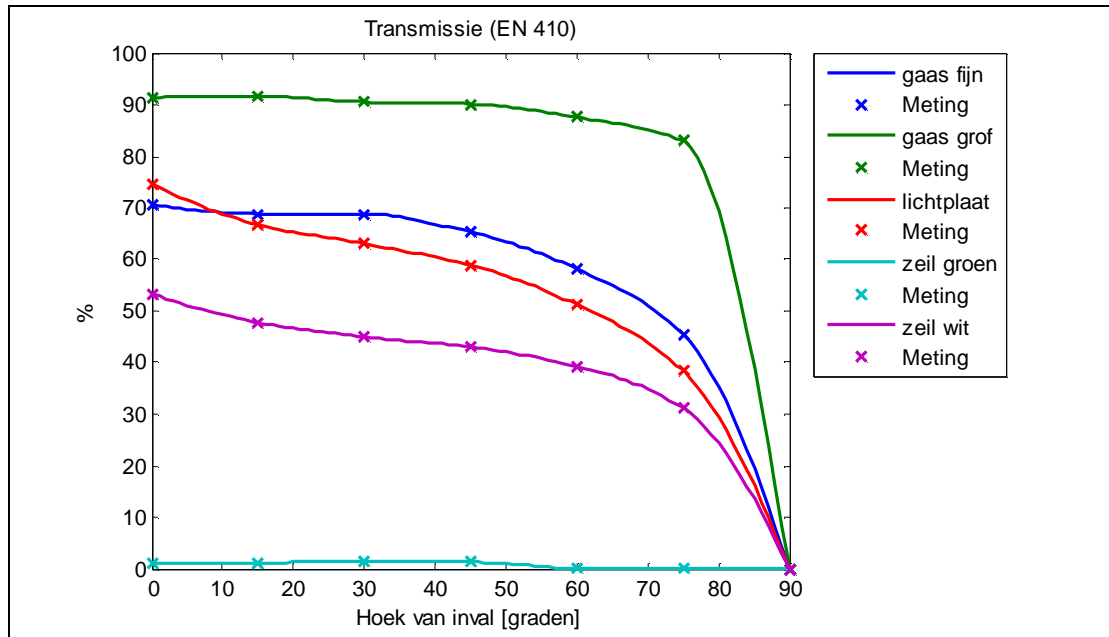


Fig 2. Hoekafhankelijke transmissie van diverse afschermingsmaterialen

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.

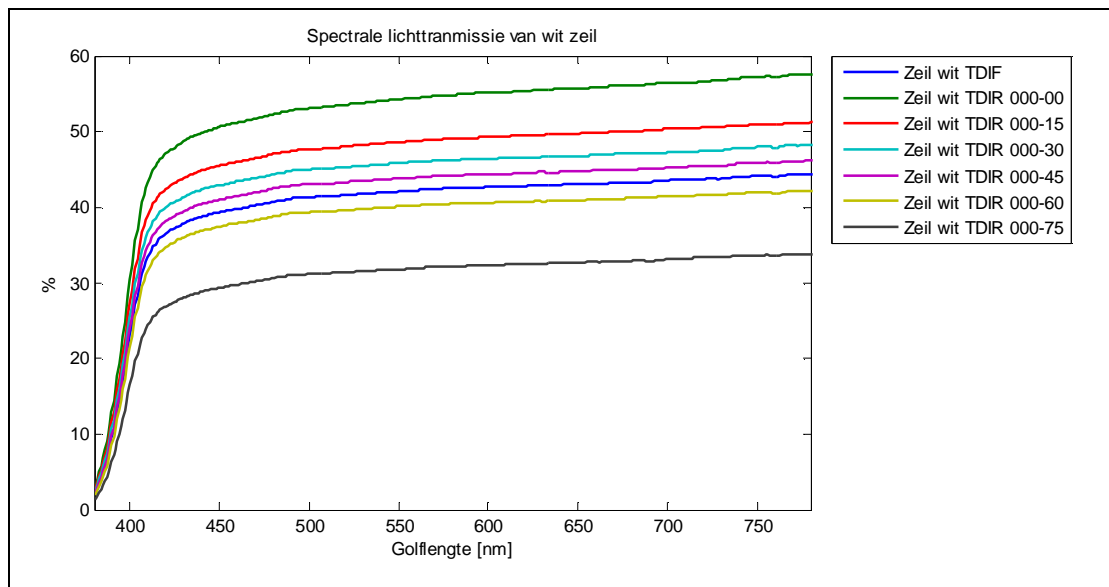


Fig 3. Spectrale transmissie van wit zeil

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.

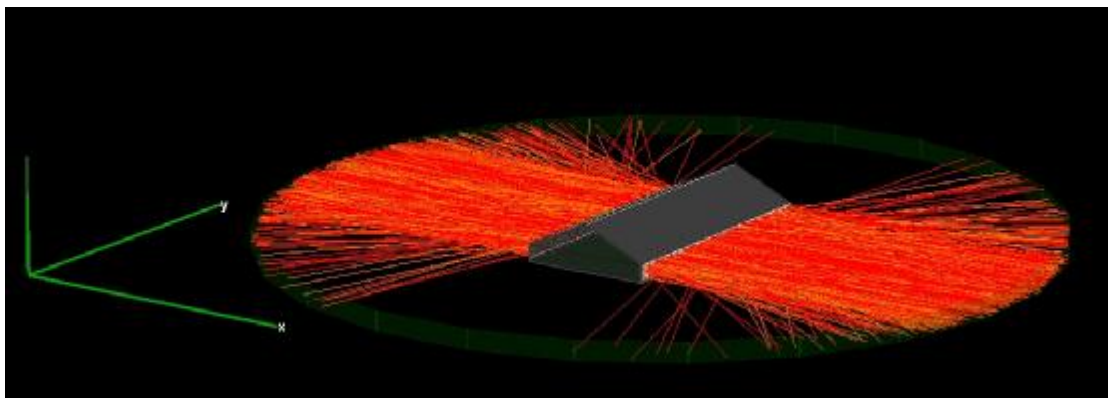


Fig 4. Output van het ray-tracing proces: de zadeldakstal met daarin de lichtstralen die de omgeving (een ring rondom de stal) raken en daarmee de zichtbare uitstoot vormen.

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 gevelschermscherm 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.

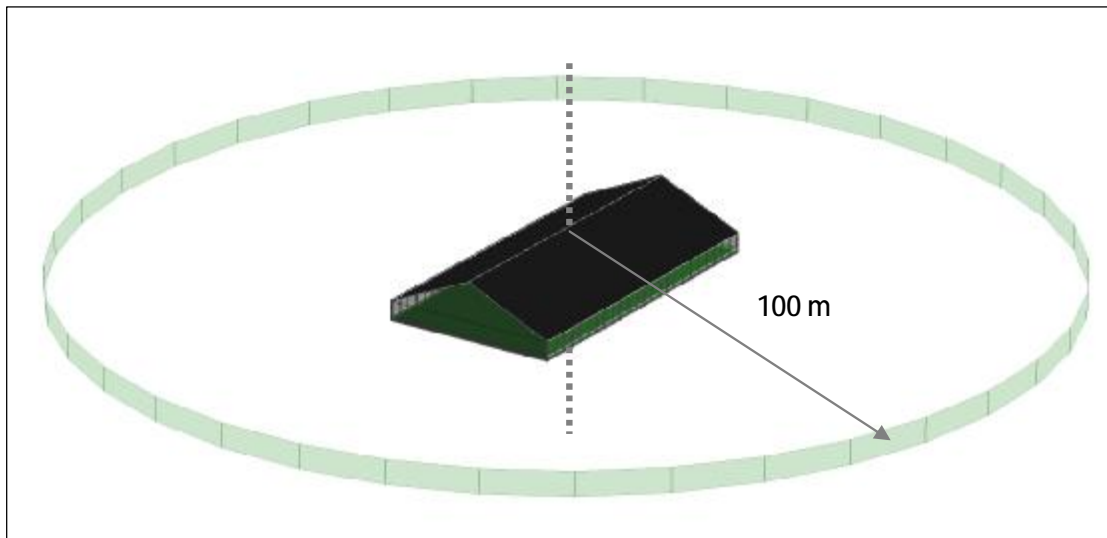


Fig 5. Waarnemer gemodelleerd als een 5 m hoge ring op 100 m afstand van het middelpunt van de stal, verdeeld in 36 segmenten van 17.6 m.

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.

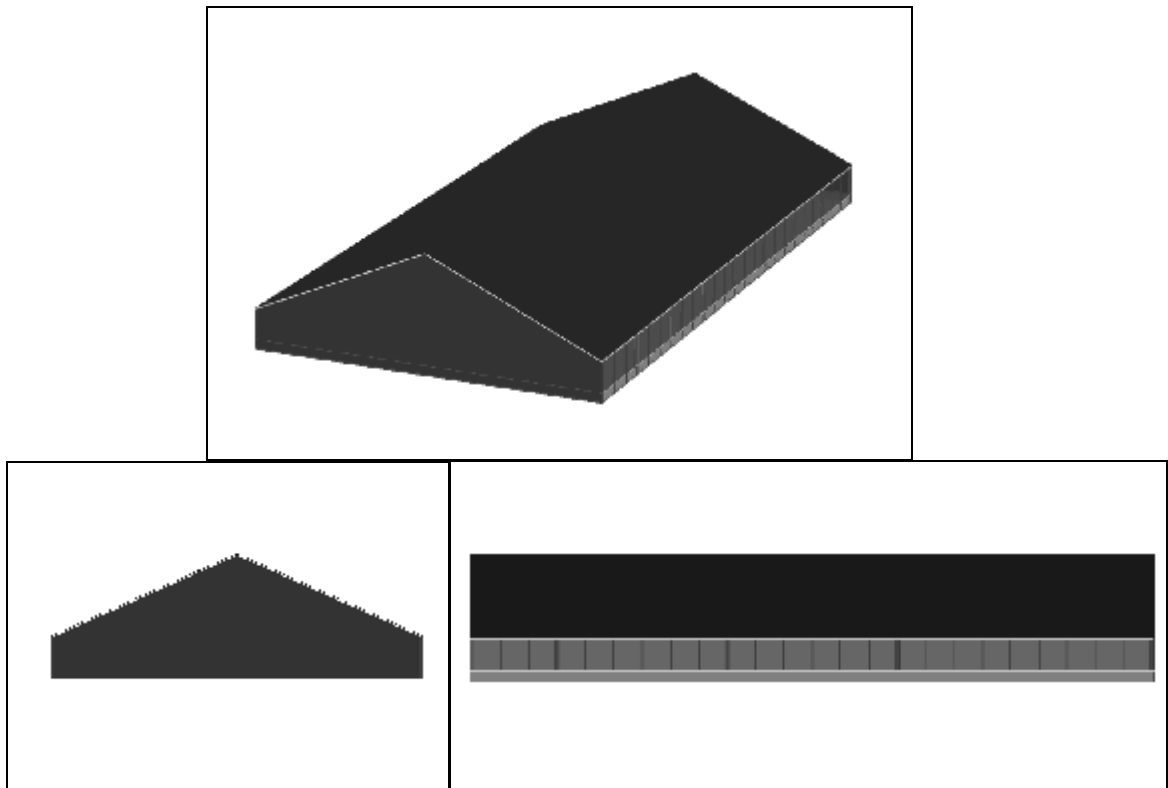


Fig 6. 3D-model van de referentie zadeldakstal

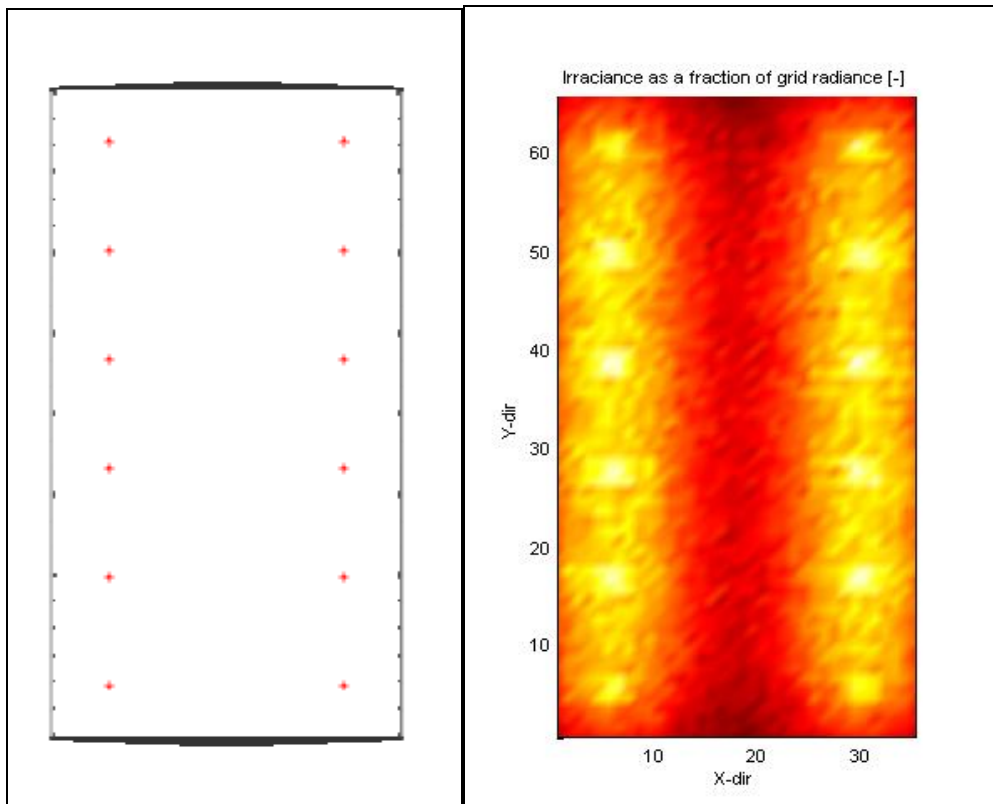


Fig 7. Positionering van de armaturen en resulterende lichtverdeling

Tabel 1. Karakteristieken van de zadeldakstal

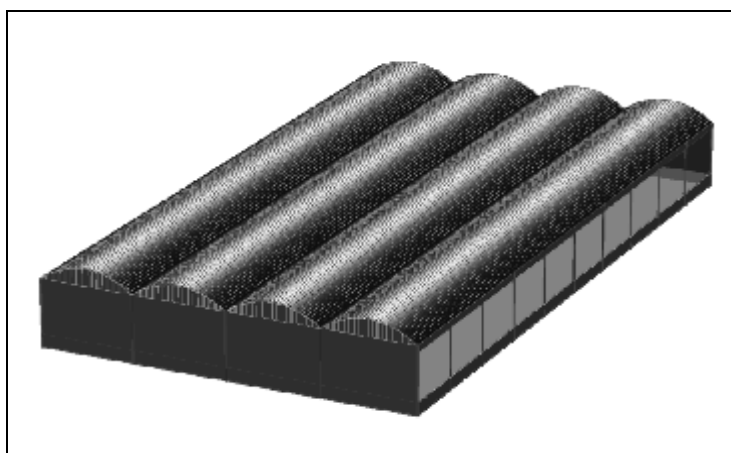
<i>Parameter</i>	<i>Waarde</i>
Lengte	66 m
Breedte	36 m
Goothoogte	4 m
Nokhoogte	12 m
Muur lange gevel: hoogte	1 m
Muur lange gevel: diffuse reflectie	0
Reflectie Plafond	50% diffuus
Spanten: aantal	9
Spanten: reflectie	50% diffuus
Spanten: afmeting	25 × 40 cm
Roeden: aantal	2 × tussen elke spant
Roeden: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



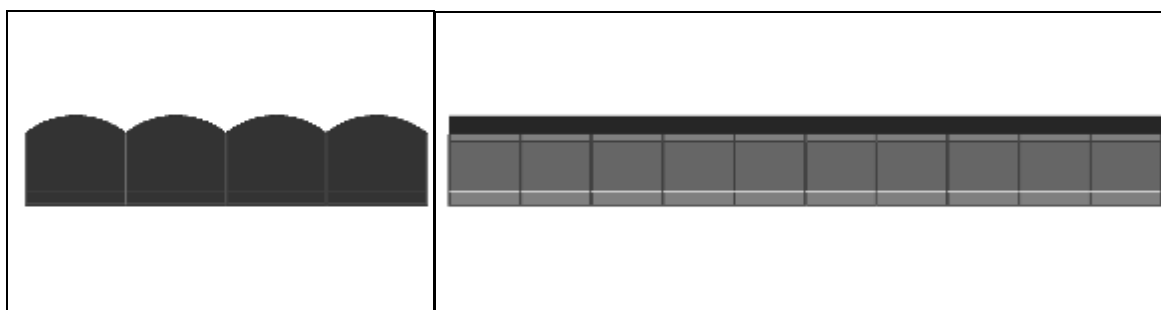


Fig 8. 3D-model van de referentie serrestal

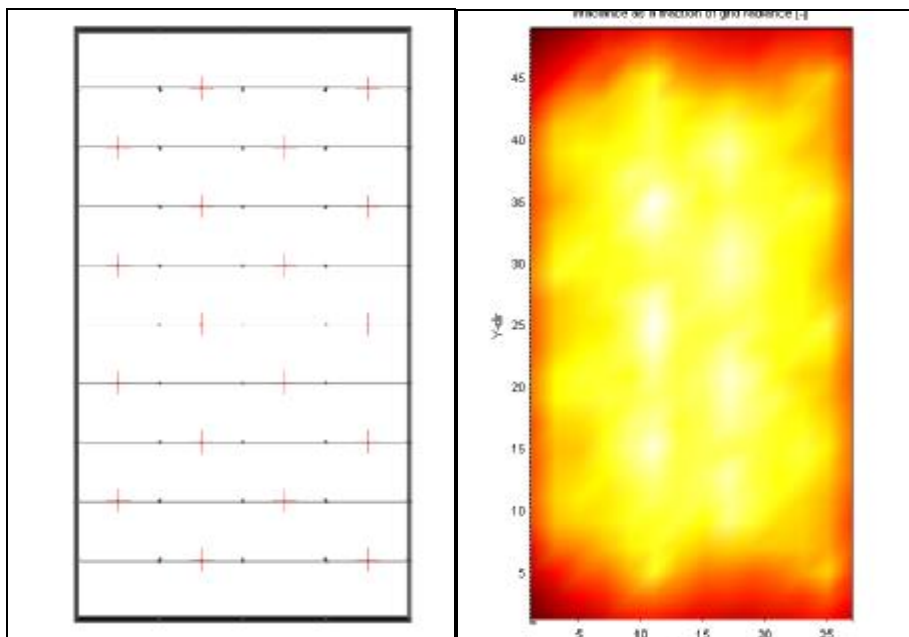


Fig 9. Positionering van de lampen en resulterende lichtverdeling

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.

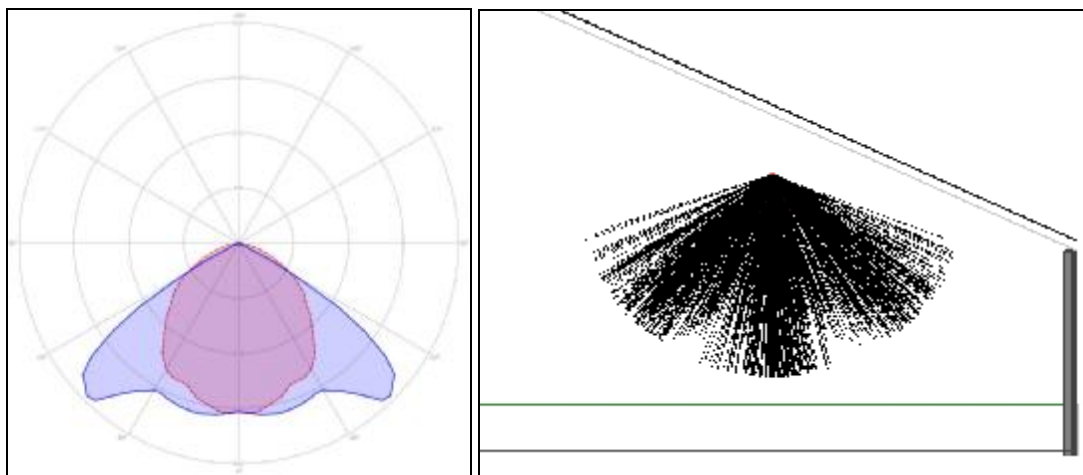


Fig 10. Voorbeeld van een polair intensiteits diagram (links) en de bijbehorende lichtstralen in Raypro.

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 1×36 W / 2×58 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 m² 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.

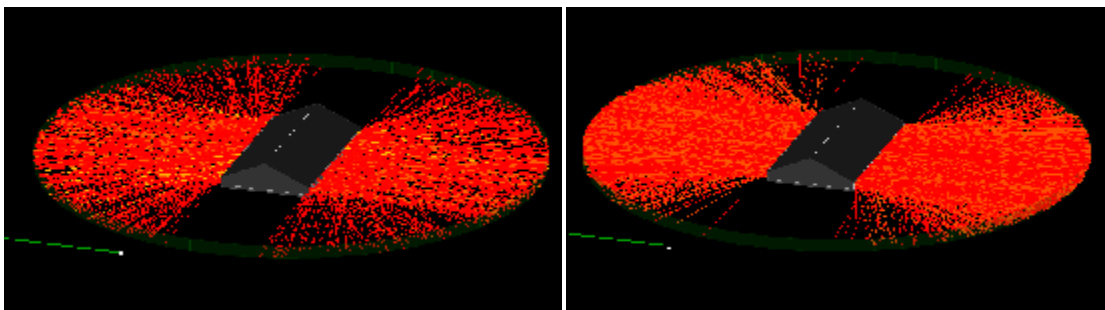


Fig 12. Zichtbare uitstoot bij een open (links) en gesloten gevelscherm

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.

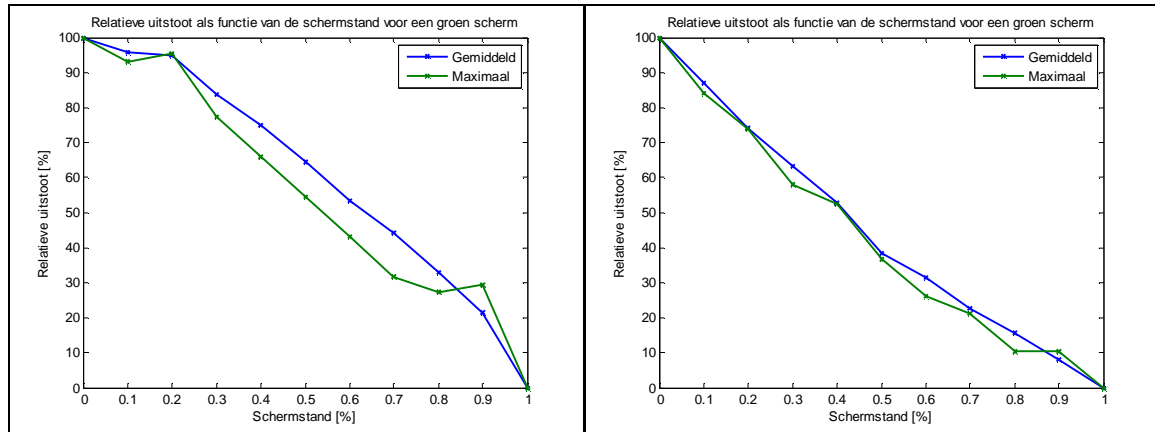


Fig 13. Relatieve maximale en gemiddelde uitstoot van een zadeldakstal met een HPS armatuur (links) en TL (rechts) in relatie tot de schermstand voor een groen lichtdicht doek.

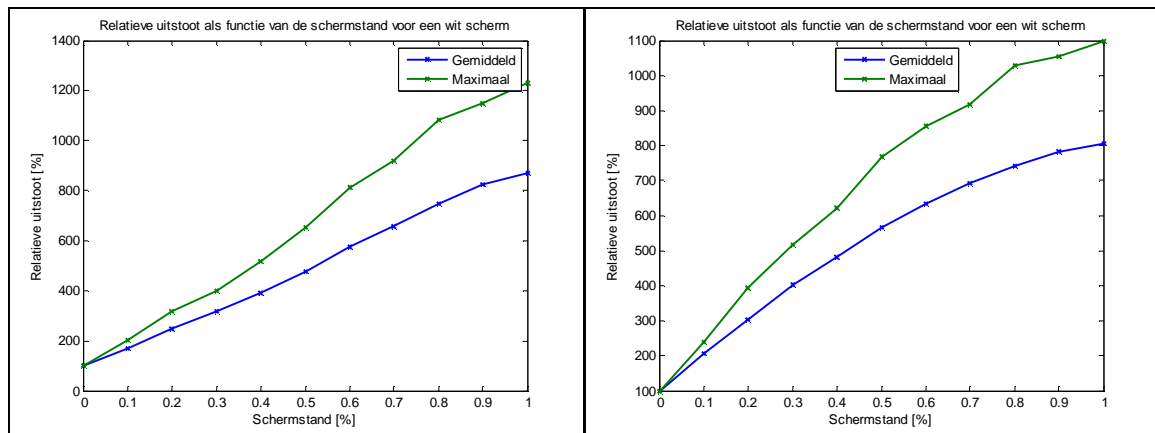


Fig 14. Relatieve maximale en gemiddelde uitstoot van een zadeldakstal met een HPS armatuur (links) en TL (rechts) in relatie tot de schermstand voor een wit transparant doek.

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.

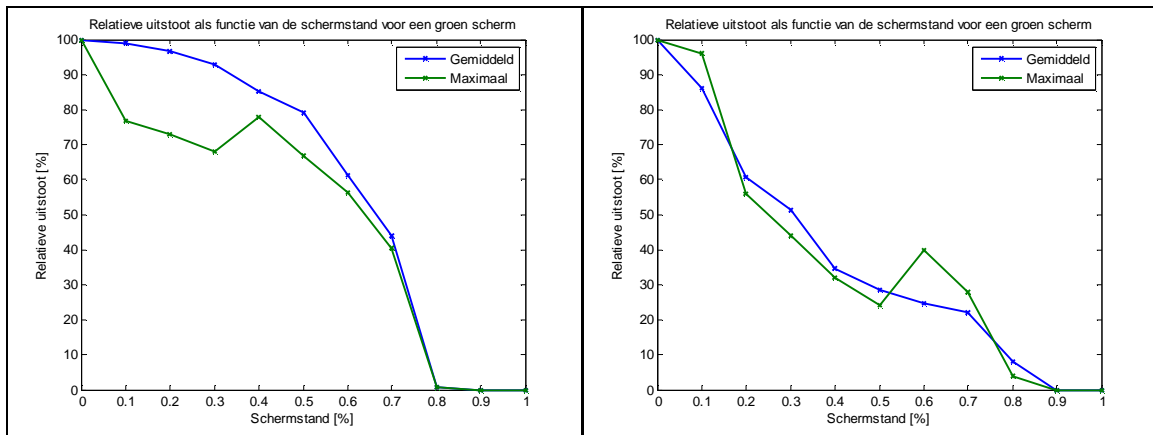


Fig 15. Relatieve maximale en gemiddelde uitstoot van een serrestal met een HPS armatuur (links) en TL (rechts) in relatie tot de schermstand voor een groen lichtdoek.

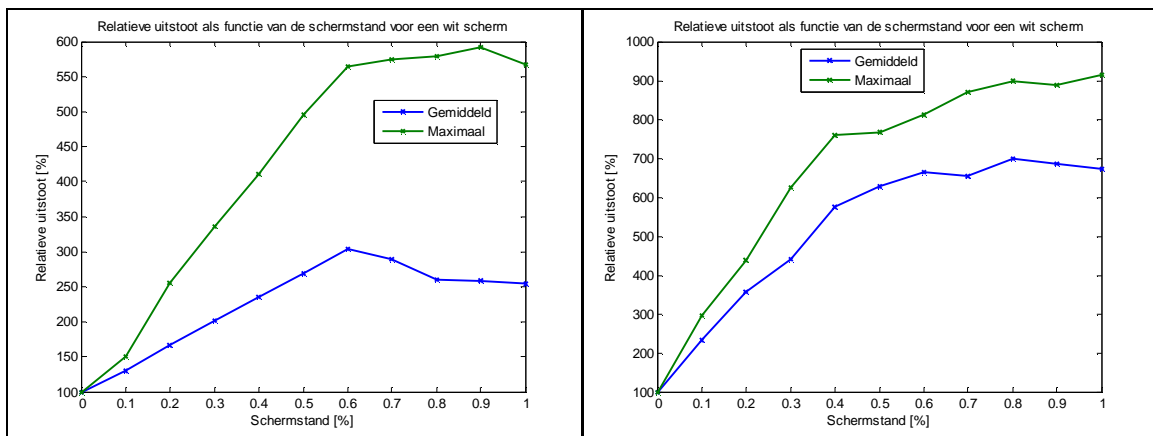


Fig 16. Relatieve maximale en gemiddelde uitstoot van een serrestal met een HPS armatuur (links) en TL (rechts) in relatie tot de schermstand voor een wit transparant doek.

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.

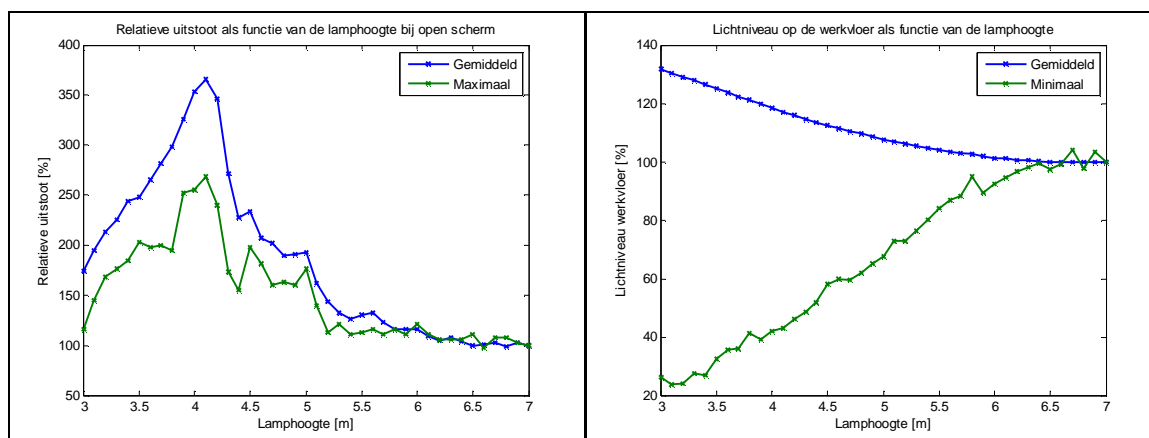


Fig 17. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij open scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

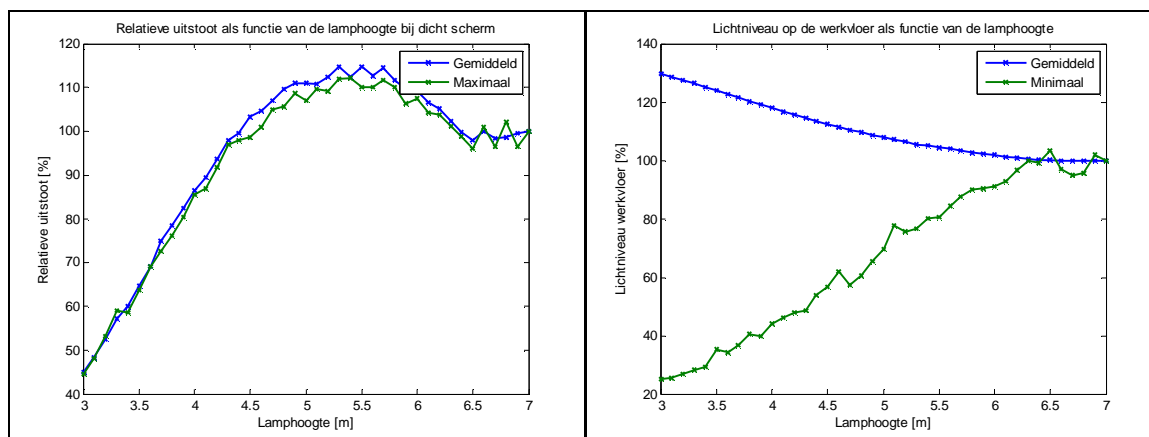


Fig 18. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij gesloten scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

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.

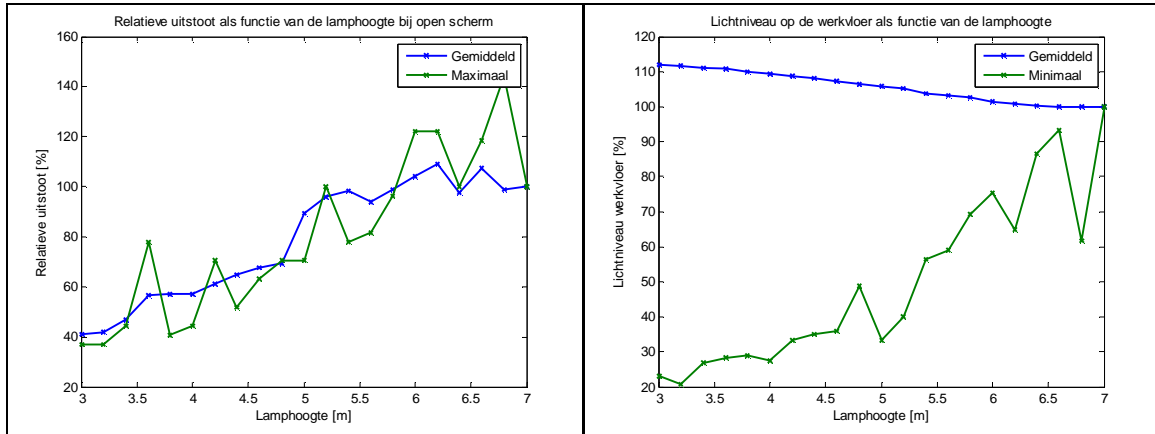


Fig 19. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij open scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

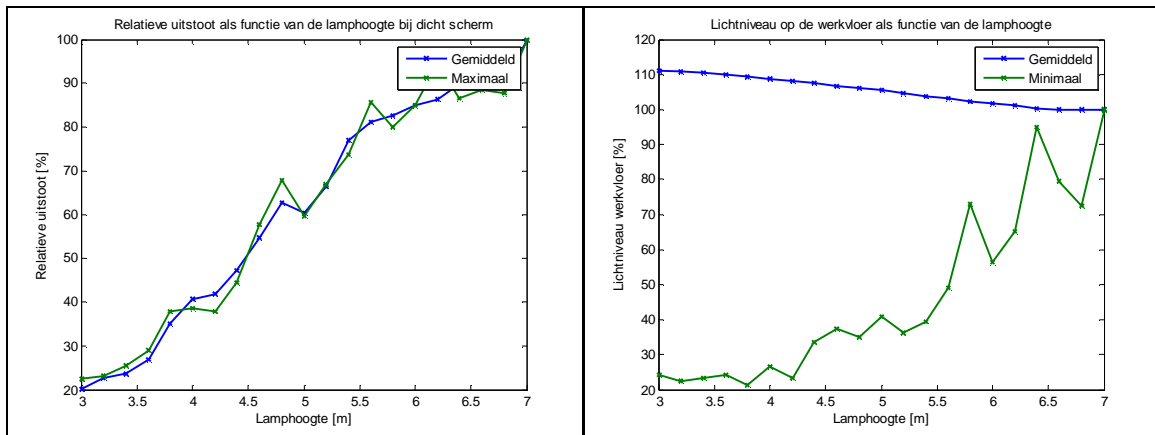


Fig 20. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij gesloten scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

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.

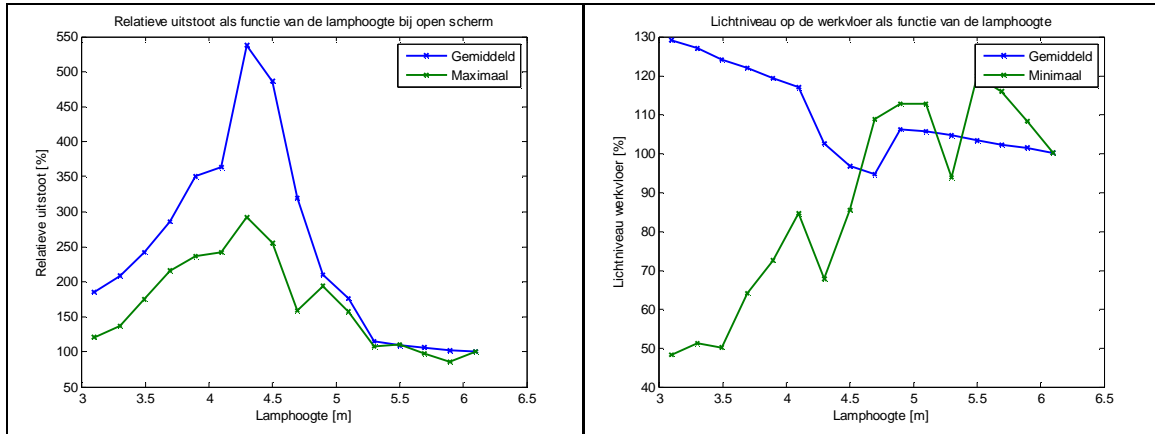


Fig 21. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij open scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

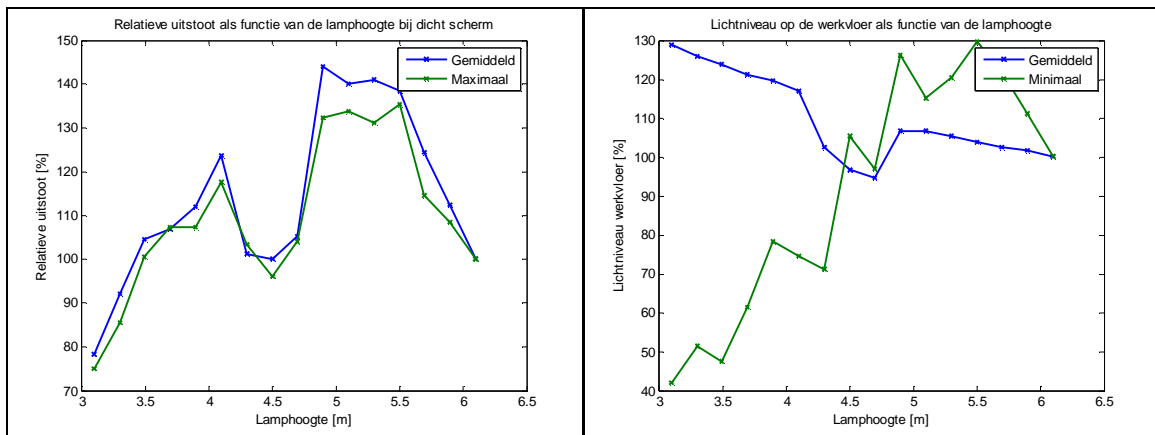


Fig 22. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij gesloten scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

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.

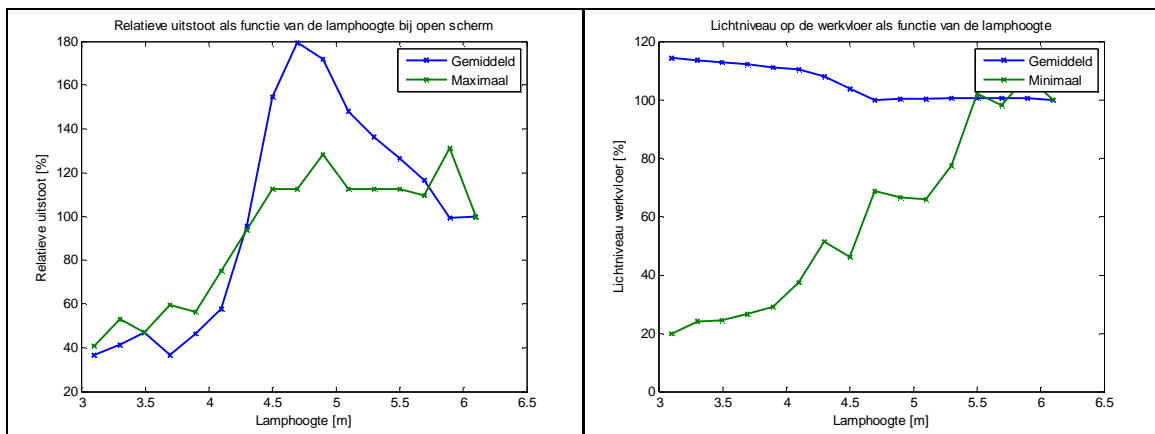


Fig 23. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij open scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

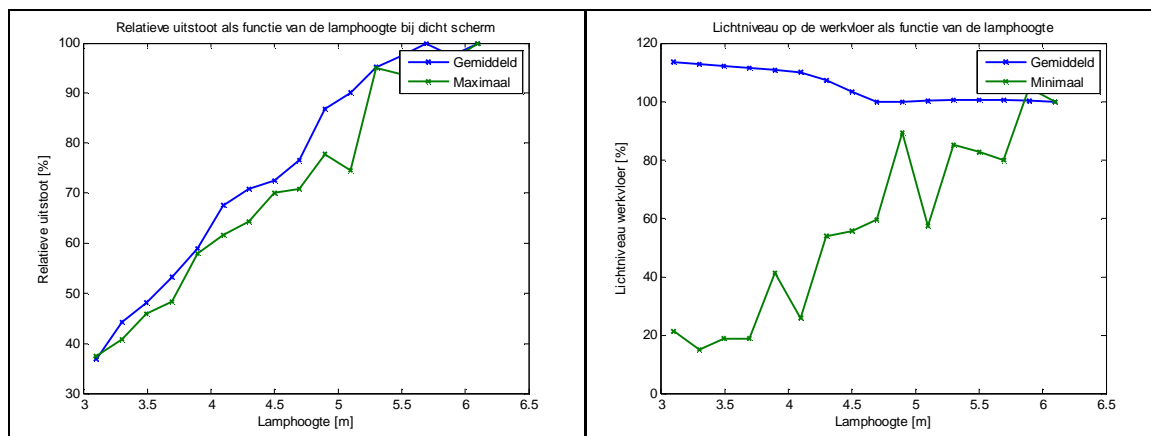


Fig 24. Relatieve uitstoot van een zadeldakstal (links) en lichtniveau op de werkvloer bij gesloten scherm als functie van de lamphoogte vanaf ruim onder de goot (lampen zichtbaar) tot tegen het plafond (niet zichtbaar).

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).

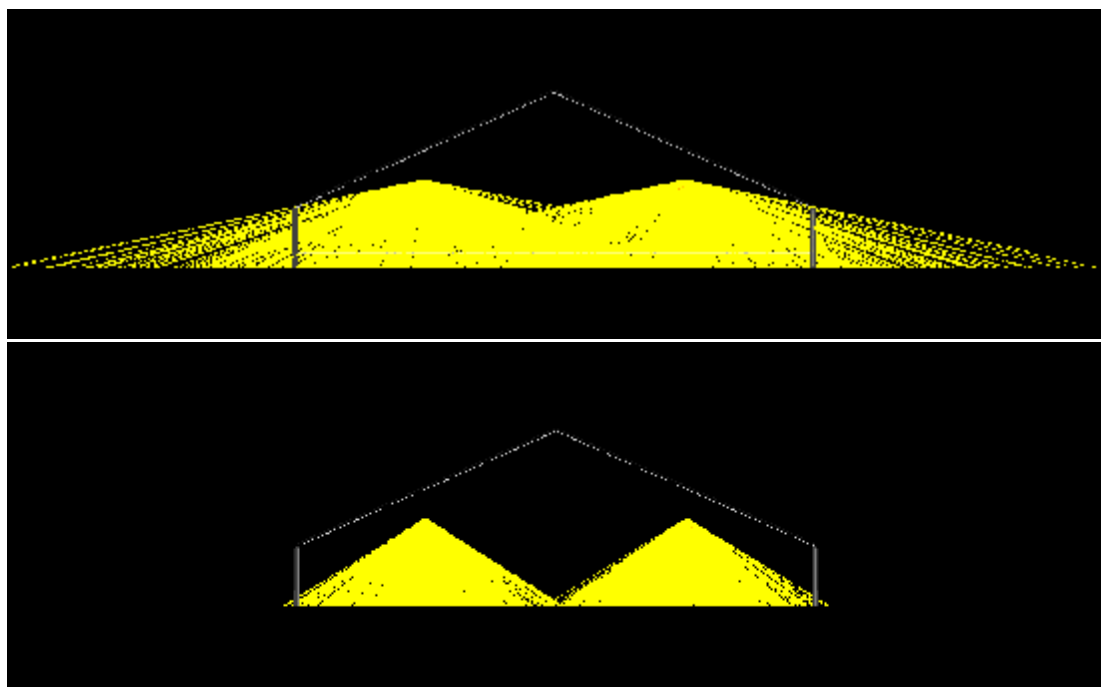


Fig 25. Boven: direct lamplicht van breedstralende lamp raakt het gevelschem. Onder: smalstralende lamp raakt gevelschem niet.

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).

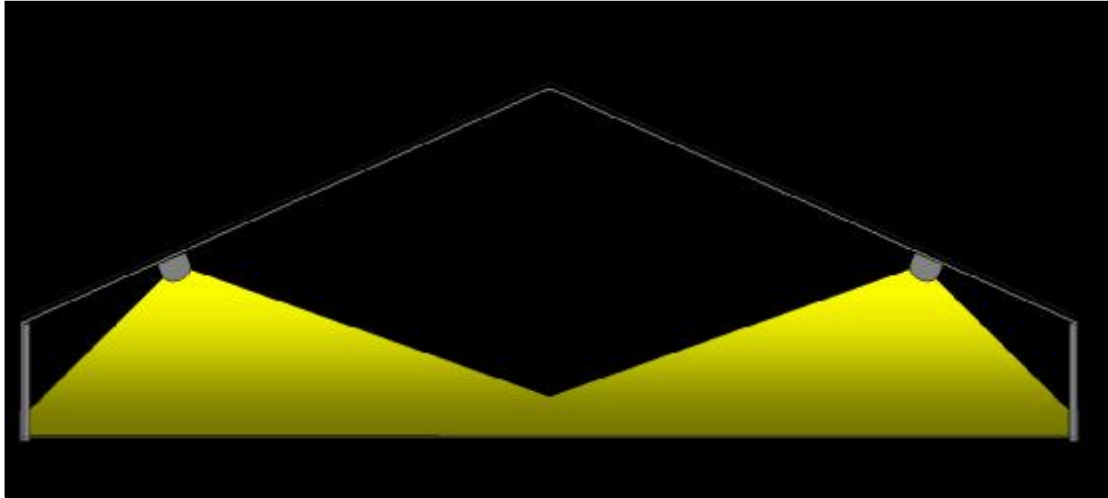


Fig 26. Door een asymmetrisch armatuur kan directe belichting van het gevelschem worden voorkomen.

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.

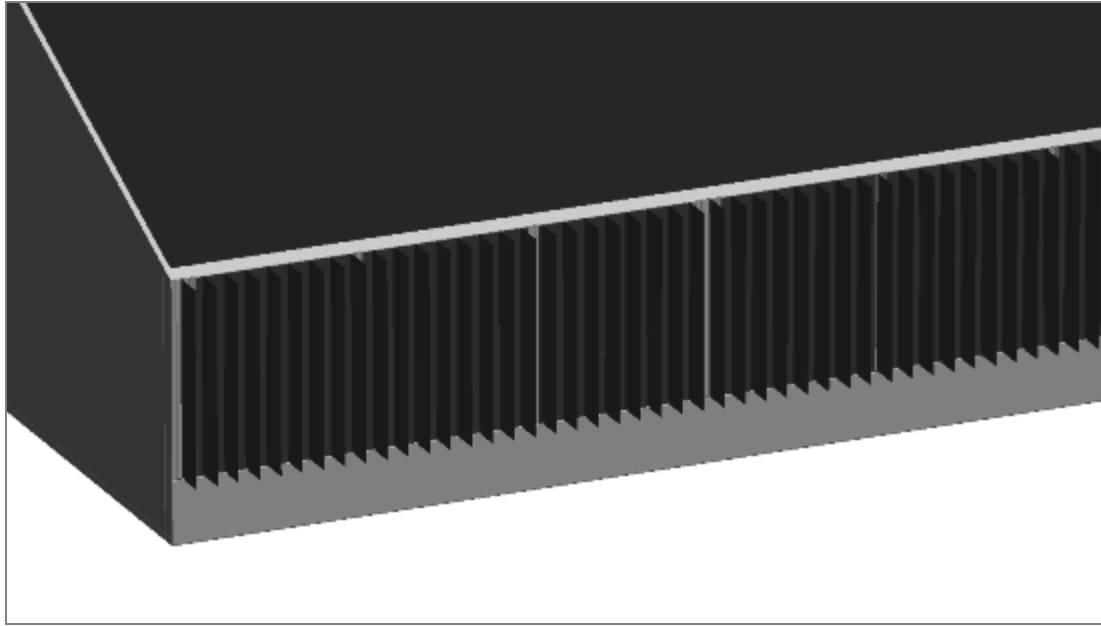


Fig 27. Verticale lamellen in de gevel van een zadeldakstal

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° (volledig open) tot 90° (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).

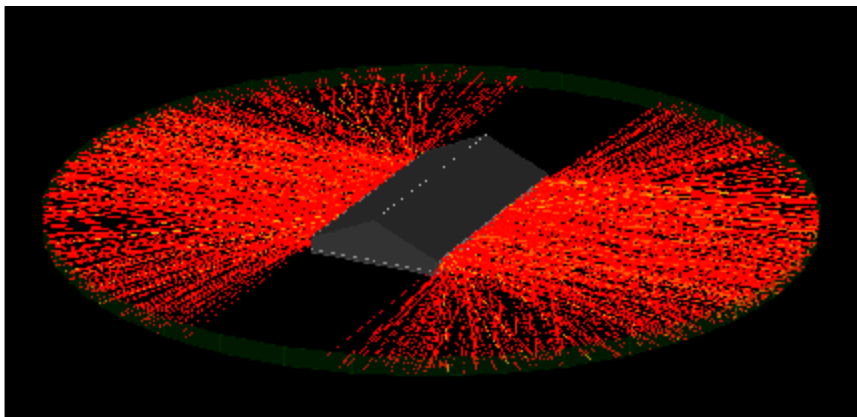


Fig 28. Uitstoot bij open scherm zonder lamellen (100% referentie)

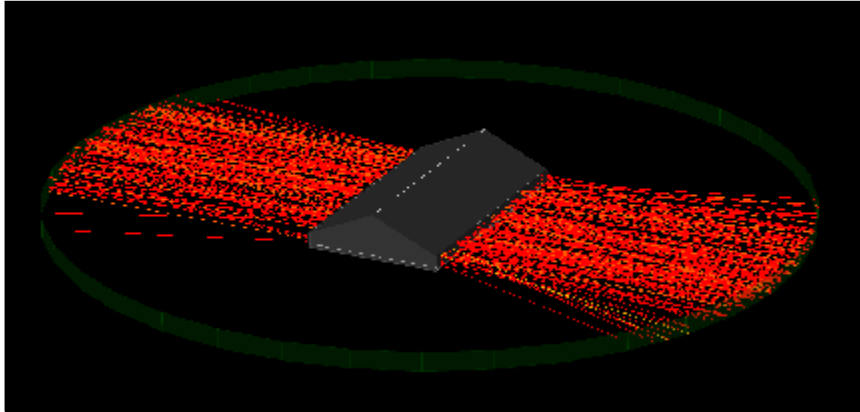


Fig 29. Uitstoot bij open scherm met lamellen op 0°

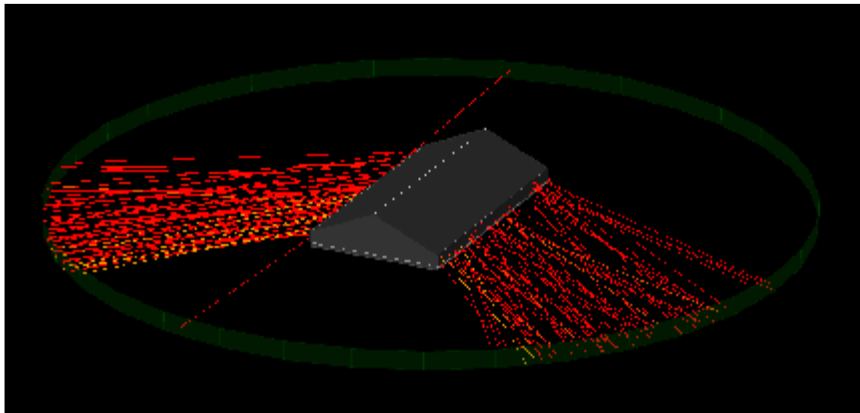


Fig 30. Uitstoot bij open scherm met lamellen op 45°

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

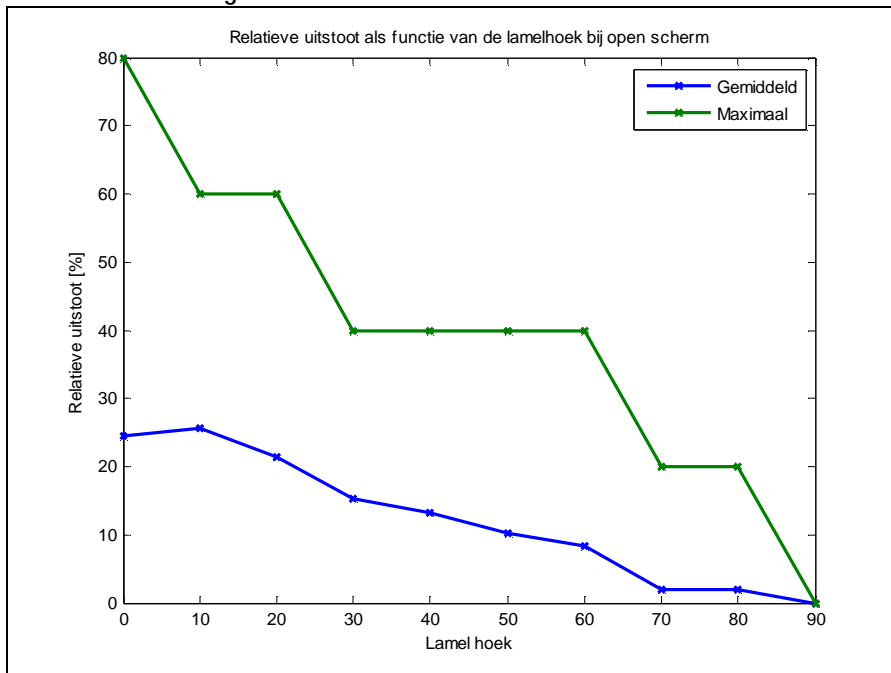


Fig 31. De lichtuitstoot van een zadeldakstal bij geopend scherm als functie van de lamelhoek voor 100% absorberende lamellen.

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 cd/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 (cd/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 (± 15 m) zijn lampen die boven de goot hangen vaak wel rechtstreeks zichtbaar. Daarom zijn alleen de metingen van veraf (± 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 gesignaleerd 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/m²]</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 (circa <5 lux) 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.

Bijlage 5: Omgevingsinterviews door S. Zonderland van Projecten LTO Noord

Omgevingsinterviews

Met een zeer beperkt aantal omwonenden van de 4 geselecteerde stallen zijn interviews gehouden waarin gevraagd is naar de beleving van de lichtuitstoot en zichtbaarheid van de stallen. Dit onderdeel was in 1^e instantie niet in het projectplan beschreven, maar is later op verzoek van provincie Friesland toegevoegd. Vanwege het kleine aantal geïnterviewden kunnen er geen conclusies uit worden getrokken, het geeft slechts een indicatie. De interviews zijn uitgevoerd door Projecten LTO Noord.

Bedrijf 1

Bedrijf 1 heeft een ligboxenstal met zadeldak. De stal is gelegen ten zuidwesten van het dorp. Volgens de omgeving kenmerkt de stal zich door de hoogte; de nok 11,8 meter hoog. Het is een opvallende verschijning in het open landschap. De lichtuitstoot wordt aan de oostkant van de stal sterk beperkt door een naastgelegen schuur.

De ondervraagde personen hebben goed zicht op de stal. Mevr. G. woont op circa 350 meter afstand van bedrijf 1, en dhr. B. woont op ongeveer 550 meter afstand. Mevr. G. is er komen wonen nadat de stal werd gebouwd, dhr. B. echter woonde er al eerder. Beide ondervraagden vinden dat de verlichting vrij hoog hangt. Dat is tevens het meest opvallende aan de stal. Als het witte winddoek gesloten is, is de lichtuitstoot vele malen hoger dan wanneer het doek niet in gebruik is, aldus mevr. G. De uitstoot wordt niet als storend ervaren door beide burens. Niet storend wil niet zeggen dat ze het mooi vinden, integendeel; ze vinden het absoluut niet mooi, maar ze storen zich er ook niet aan. Ook hoefden ze er niet aan te wennen. In de omgeving van het dorp (aan de oostkant) staan nog een aantal stallen die een veel hogere mate van uitstoot van licht hebben. Die stallen stonden er al voordat deze nieuwe en hoge stal van bedrijf 1 werd gebouwd. Aan die opvallende stallen hebben ze beide wel moeten wennen; ook omdat die verlichting oranje uitstraalt.

De invloed van het licht op de omgeving is gering volgens mevr. G. en dhr. B. Er komen veel reeën en hazen voor; die aantallen zijn in hun ogen niet verminderd na de komst van de stal. Dhr. B. denkt dat het wellicht invloed kan hebben op de groei van het gras dat zich binnen het bereik van het licht bevindt. Hij vergelijkt het met het gras in sommige voetbalstadions; daar wordt de grasgroei en grasherstel bevorderd door gebruik te maken van laaghangende verlichting.

Bedrijf 2

Het tweede bedrijf dat meedoet aan de onderzoeken ten behoeve van dit project heeft een nieuwe ligboxenstal met zadeldak, gebouwd in 2009. Er zijn een paar omwonenden die zicht hebben op de stal, waaronder de ondervraagden mevr. B en dhr. H. Beide personen woonden er al voordat de stal werd gebouwd. De woning van mevr. B. staat op circa 200 meter van bedrijf 2. Vanuit de keuken/eetkamer heeft ze zicht op de stal. De grootte van de stal vindt ze erg opvallend, het uitzicht wordt belemmerd. De verlichting verspreidt een oranje gloed over het land. Met mistig weer lijkt het net alsof de stal in brand staat. Als de lampen branden heeft mevr. B. het idee dat de stal dichterbij staat. Dhr. H. (boer) woont aan de andere kant van de rondweg, op 500 meter van bedrijf 2. Ook hij vindt de hoeveelheid licht het meest opvallende aspect van de stal, hij vergelijkt het met een kassencomplex. Beide burens vinden het licht niet mooi, maar alleen mevr. B. stoort zich er daadwerkelijk aan. Naar haar mening had een helder wit licht een minder opvallend aanzien gehad. Om het licht te keren doet ze de gordijnen dicht, zo heeft ze er minder last van. Naast het uitzicht vanuit de omwonenden is bedrijf 2 ook een opvallende verschijning voor weggebruikers op de rondweg om het dorp.

Dhr. H. ziet de stal als een groot lichtbaken in het landschap. Ook hij doet 's avonds de gordijnen dicht om het zicht op de stal te voorkomen. Zowel mevr. B als dhr. H. zijn na verloop van tijd aan het licht gewend geraakt.

De invloed op de omgeving is volgens mevr. B. gering. Alleen insecten zouden worden aangetrokken door de verlichting. Dhr. H. denkt dat het invloed heeft op gebruikers van de rondweg. Als men daar rijdt wordt de aandacht meteen getrokken door bedrijf 2.

Bedrijf 3

Bedrijf 3 heeft een serrestal uit 2004. Dit bedrijf staat aan de zuidwest kant van het dorp. Er zijn 2 omwonenden ondervraagd die het meeste zicht op de stal hebben, dhr. v.d. B. (1) en dhr. v.d. B. (2). Beide burens wonen binnen een straal van 150 meter van bedrijf 3 en hebben vanuit hun woonkamers zicht op de stal. Dhr. v.d. B. (1) kwam er wonen tijdens de bouw van de stal; dhr. v.d. B. (2) woonde er al geruime tijd.

De veehouder heeft 2 soorten verlichting in de stal; verlichting die de hele nacht brandt en verlichting die alleen aangeschakeld is wanneer iemand in de stal aan het werk is. Wat dhr. v.d. B. (1) opvalt zijn met name de felle lichten boven de melkrobots en het feit dat het vee constant zichtbaar is in de stal. Dhr. v.d. B. (2) vindt juist de overige verlichting opvallender. Vanuit zijn woning kan hij precies in de lampenbakken kijken, waardoor de felle TL-buizen zichtbaar zijn. Wat hem ook opvalt, is dat de verlichting alleen uitstraalt via de zijkanten en niet via het dak.

Dhr. v.d. B. (1) is erg positief over de stal met bijbehorende verlichting. Hij is gastheer van een overnachtingaccommodatie en hoort van zijn gasten ook vaak positieve geluiden over de serrestal. Dhr. v.d. B. (2) heeft er ook niet aan hoeven wennen.

Dhr. v.d. B. (2) is negatiever. De verspreiding van het licht over het naastgelegen weiland en over de weg door het dorp ervaart hij als erg hinderlijk. Toen de stal gebouwd werd heeft hij op het punt gestaan om te verhuizen. Hij is in het dorp komen wonen voor de rust, de ruimte en het uitzicht. Na de komst van de stal werd het uitzicht belemmerd en mede daardoor zijn woonplezier aangetast. Mocht er aan de andere kant van zijn woning ook een dergelijke stal worden gebouwd dan gaat hij weg uit het dorp. Na verloop van tijd is hij wel gewend geraakt aan de verlichting. Door de gordijnen 's avonds dicht te doen heeft hij er geen zicht meer op.

Tips voor de boer om de lichtuitstoot te verminderen hebben beide omwonenden wel. Eén van die tips is het plaatsen van lichtwerende kappen voor de verlichting boven de melkrobot. Hiertoe is na overleg met de melkveehouder ook al besloten .

Bedrijf 4

Op bedrijf 4 is een serrestal aanwezig, deze is gebouwd in 2009. Het bedrijf staat aan de zuidoost kant van het dorp. De burens die ondervraagd zijn wonen op kleine afstand van de stal. Zowel dhr. Z. als dhr. B. woonden er al voordat de serrestal werd gebouwd. Dhr. B. vindt de verlichting het meest opvallend vanuit één bepaalde hoek vanaf een weg die langs de oostkant van de stal loopt. Er schijnt dan een behoorlijke lichte gloed over de weg. Vanuit de woonkamer hebben ze er geen zicht op. Dhr. Z. heeft vanuit de woonkamer wel zicht op de verlichting, maar het is niet erg opvallend. Wel vindt hij dat de verlichting 's avonds op een laat tijdstip uitgaat. De meningen over de verlichting in de stal zijn verschillend; dhr. B. vindt de verlichting niet mooi, het doet hem denken aan de glastuinbouw, waar het licht ook aan alle kanten uitstraalt. Dhr. Z. daarentegen vindt de lichtuitstoot helemaal niet lelijk en hij stoort zich er ook niet aan.

De gewenningsperiode was bij dhr. B. relatief kort; de eerste weken na installatie van de verlichting gaf het een aparte uitstraling aan de omgeving, maar na 1 á 2 maanden was hij er aan gewend. Dhr. Z. hoefde er helemaal niet aan te wennen. Voor hem is er weinig veranderd ten opzichte van de voorgaande situatie.

Opmerkelijk

Uit de beperkte gesprekken met enkele omwonenden van de 4 (ligboxen- en serre)stallen komen enkele uitspraken naar voren, vanwege het geringe aantal is het moeilijk objectieve conclusies te trekken:

- Ondervraagden vinden de lichtuitstoot van de stallen niet mooi, maar het merendeel ervaart het niet als storend. Na een aantal weken treedt bij de meesten gewenning op.
- Het meest opvallende aan de verlichting zijn vaak enkele specifieke lampen. Ook werd een aantal keren genoemd dat het licht een gloed verspreidde over de omgeving.
- De ondervraagden vonden over het algemeen de vorm van de stal meer storend dan de verlichting. Het belemmerde uitzicht werd vaker als storend genoemd dan de verlichting.
- Om het licht te keren doet een aantal omwonenden 's avonds de gordijnen dicht. Daardoor wordt het zicht op de verlichting verminderd.

- In overleg met de melkveehouder kan veel bereikt worden. Als omwonenden klachten hebben over bepaalde verlichting, kan er in sommige gevallen samen met hem meestal wel tot een oplossing worden gekomen.

Bijlage 6: "Effecten van lichtuitstoot door melkveestallen op flora en fauna", inventarisatie uit literatuur door M. Jongema en S. Zonderland van Projecten LTO Noord

“Effecten van lichtuitstoot door melkveestallen op flora en fauna”

Inventarisatie uit literatuur

Deze inventarisatie uit beschikbare literatuur over het onderwerp is een klein onderdeel van het project “Optimale verlichting melkveestallen”. In dit deelrapport wordt aandacht geschonken aan de invloed van lichtemissie op flora en fauna.

1. Effecten van licht op flora

Planten zijn voor hun groei afhankelijk van licht. Door het absorberen van licht treedt er binnen de plant fotosynthese op. Fotosynthese is een fotochemisch proces waarin de plant energie uit het licht opneemt. Tijdens dat proces wordt onder invloed van licht in de bladgroenkorrels water en mineralen omgezet in koolhydraten, zoals bijvoorbeeld glucose. Door het aanmaken van deze voedingsstoffen is de plant in staat om te leven: groeien, bloeien en vruchten te produceren.

In de literatuur zijn vooral specifieke onderzoeken gevonden voor lichtuitstoot door de glastuinbouw en door straatverlichting. Uit deze bronnen zijn een aantal relevante zaken overgenomen.

1.1 Glastuinbouw

Één van de meest lichtuitstotende bebouwingen in Nederland is de glastuinbouw. De invloed van kunstlicht op planten is met name vanuit de glastuinbouw bekend. In de glastuinbouw wordt veelal gebruik gemaakt van assimilatieverlichting. Dit is een vorm van belichting die assimilatie (fotosyntheseprocess) en groei stimuleert. In de glastuinbouw wordt ook verlichting gebruikt voor het verlengen van de dag. Door ook in de wintermaanden assimilatieverlichting op de planten te richten, is de kweker voor zijn productie niet meer afhankelijk van de zomerzon. Over de invloed van kunstlicht op "wilde" flora is weinig concreets bekend. Hier is in de onderzochte literatuur geen concrete informatie over gevonden.

1.2 Straatverlichting

Naast het onderzoek naar de effecten van lichtuitstoot binnen de glastuinbouw zijn er tevens enige invloeden bekend van uitstoot van straatverlichting op flora. Het overzicht is grotendeels gebaseerd op een literatuurstudie van De Molenaar en collega's (Molenaar e.a., 2000).

Door een verlenging van de dagelijkse lichtperiode, dus wanneer de straatverlichting wordt aangezet, kan een plant misleid worden bij de timing en het verloop van diverse processen in zijn levenscyclus. Bij een straatverlichting van 10 lux op korte afstand van een plant mag invloed worden verwacht bij de inductie (de fase waarin planten aangezet worden om te bloeien). Deze inductie kan een reeks van processen teweegbrengen tijdens een voor de plant minder gunstige periode. Hierdoor ontstaat in theorie een verhoogde kans op stress bij de plant.

In de jaren '60 werd beschreven (Matske E.B., 1936) dat het afvallen van boomblad in de dichte nabijheid van straatlampen in de herfst vertraging oplep. Dit zou gepaard kunnen gaan met het later aanleggen van de rustende winterknop, waardoor een groter risico voor schade door vroege vorst zou kunnen ontstaan.

In een recenter literatuuronderzoek (Van Rijssel et al, 1991) wordt ook het vroeger in bloei komen van fruitbomen langs een belichte kas gemeld. In beide gevallen is er sprake van vorstschade door vervroegd bloeien.

Bovenstaande effecten treden alleen op binnen een afstand van hooguit enkele meters van de verlichting.

1.3 Conclusies

De invloed van buitenverlichting (ca 10 lux) op flora is minimaal en slechts tot enkele meters afstand waarneembaar, alsook de invloed van kasverlichting op flora. De hoeveelheid lux is bij dagelijks zonlicht vele malen hoger dan de lichtsterkte van stalverlichting. Daardoor zal de werking van stallicht alleen (minimale) effecten hebben op flora die in de zeer dichte nabijheid van de stal staan. De bloeiperiode van die planten zou verlengd en vervroegd kunnen worden, doordat er gedurende een langere periode fotosynthese kan plaatsvinden binnen de plant. Ook kunnen de planten meer last ondervinden van vorst, aangezien de kwetsbare delen van de plant in het voorjaar eerder zijn gaan groeien en de plant in het najaar later in ruststand komt.

2. Effecten van licht op fauna

Net als een mens hebben de meeste dieren licht nodig om te kunnen leven. Licht en donker bepalen het dag- en nachtritme van een dier. Over de precieze effecten van licht op fauna is nog weinig bekend. Het is vrijwel zeker dat licht in de nacht soms verstorend werkt, echter in de beschikbare literatuur wordt geen significant verband beschreven. Er zijn echter wel sterke aanwijzingen gevonden dat licht effect heeft op het gedrag van dieren. De effecten zijn te onderscheiden in verstoring van, aantrekking op en verandering in habitatkwaliteit. Omdat er relatief weinig concrete gegevens bekend zijn, wordt niet specifiek op iedere diersoort ingegaan. Wel worden enkele voorbeelden genoemd ter illustratie.

2.1 Verandering in habitatkwaliteit

Verlichting kan leiden tot vermijdingsgedrag. Bij de grutto blijkt wegverlichting de broeddichtheid te verlagen tot op een afstand van enkele honderden meters (De Molenaar e.a. 2000). De grootte van het effect is echter gering.

In 1998 werd in opdracht van Rijkswaterstaat door Alterra de invloed van wegverlichting op het nestgedrag van grutto's bestudeerd. De grutto wordt als gidssoort onder de weidevogels gezien. Dit onderzoek werd uitgevoerd in een open weidegebied aan weerszijden van de A9 in Nederland tussen Limmen en Akersloot. Om de invloed van verlichting te kunnen onderscheiden van die van het wegverkeer, is daarnaast tevens en op dezelfde wijze een gebied zonder wegverkeer bekeken waarin wegverlichting werd aangebracht, die tegelijkertijd met de verlichting langs de A9 werd ingeschakeld. Het onderzoeksgebied besloeg 230 ha. Het behoort wat de gruttostand betreft met meer dan 50 broedparen/100 ha tot de beste weidevogelgebieden van ons land. Wegverlichting blijkt een aantasting van de habitatkwaliteit voor de grutto te betekenen. Het heeft een significant negatieve invloed op de geschiktheid als broedterrein, die zich lijkt uit te kunnen strekken over enige honderden meters afstand van de verlichting. Daarnaast blijken de vogels die als eerste beginnen te nestelen, hun nestplaats significant verder van de lichtbron verwijderd te kiezen dan vogels die later gaan nestelen. Een invloed van de verlichting op het gemiddelde eivolume per nest, als indicatie voor het broedsucces en de conditie van de oudivogels, is in dit onderzoek niet aangetoond. Aannemelijk bij dit onderzoek zou zijn dat de aanwezigheid van de wegverlichting aantrekkingskracht zou uitoefenen op predatoren (qua zicht en qua uitkijk), maar dit is evenmin aangetoond tijdens het onderzoek.

2.2 Verstoring

Verstoring van het dagelijkse ritme van waken en slapen door verlichting betekent ook voor dieren dat de verstoring van het evenwicht tussen de periode van (mogelijke) activiteit en de periode van rust en herstel. Dit is afhankelijk van de intensiteit van de verlichting van de omgeving. Over drempelwaarden is echter nauwelijks iets bekend. In laboratoriumonderzoek is aangetoond dat nachtdieren (hamsters) duidelijk reageren op verstoring van het natuurlijke dag- en nachtritme. Deze effecten zijn echter nog nooit onderzocht op dieren in de vrije natuur. Van nachtdieren is waargenomen dat zij bij volle maan en een heldere hemel actief kunnen blijven en dat de verlichte hemel geen dag-effect (dus rustperiode) teweegbrengt. Ook is aangetoond dat langzaam vliegende vleermuizen en sommige amfibiesoorten kunstmatig verlichte delen op hun vliegroete mijden. Dit geldt vooral voor soorten als watervleermuis en meervleermuis.

2.3 Aantrekking

In 2000 werd ook in opdracht van Rijkswaterstaat door de Wageningen Universiteit een onderzoek uitgevoerd naar de effecten van wegverlichting op niet-vliegende zoogdieren. Dit onderzoek vond plaats in het gebied 'De Regulieren', gelegen onder Culemborg. Tijdens dit onderzoek zijn op 6 verschillende locaties in het gebied lichtmasten op dammetjes geplaatst. Per locatie werd de verlichting maandelijks afwisselend aan- en uitgeschakeld. Als op de ene helft van de locaties de verlichting brandde, was de verlichting op de andere helft van de locaties uitgeschakeld. Gelijktijdig met andere wegverlichting gingen de lampen aan en uit. Op alle locaties werden zilverzandbedden aangelegd op 4 verschillende afstanden van de lichtmasten.

Het zand was bedoeld om de sporen van de passerende zoogdieren vast te leggen. Het al dan niet passeren van de dammen gaf een indicatie van de barrièrewerking van licht, terwijl het passeren van de overige zandbedden een indicatie gaf over de afstand waarop een effect van licht begon op te treden.

Geen enkele van de waargenomen zoogdieren (bruine rat, muskusrat, egel, haas, ree, bunzing, hermelijn, wezel, vos, muis en amfibieën) toonden in dit onderzoek significant afstotend effect door de wegverlichting.

Bekend is wel dat dieren verschillend reageren op verlichting. Sommige diersoorten worden er door aangetrokken, andere soorten (zoals weidevogels) vermijden plaatsen met veel licht. Een ander onderzoek in het half open landschap toonde aan dat roofdieren (bunzing, hermelijn, vos) door licht worden aangetrokken.

Ook voor de muskusrat geldt een toename van het aantal passages nabij de gebruikte verlichting. Voor de overige diersoorten is niet aangetoond dat ze aantrekkelijk of afstotend gedrag vertoonden. Het wel of niet branden van de verlichting had dus weinig effect op het passeren van de verlichte gedeeltes van de locaties.

Naast de hierboven beschreven effecten op niet-vliegende fauna zijn er ook vogels en vleermuizen die worden aangetrokken door het licht. Bij vleermuizen is dat niet verwonderlijk aangezien de prooi van de vleermuis bestaat uit insecten die door de verlichting aangetrokken worden (Molenaar e.a., 2003).

2.4 Conclusies

- Uit de inventarisatie uit literatuur bleek dat er verschillend gedrag optreedt bij een aantal diersoorten, dit is in verschillende onderzoeken in het veld aangetoond. Dieren kunnen effecten van licht ondervinden op het gebied van:
 - Verstoring van hun natuurlijk gedrag
 - Aantrekkingskracht of afstotend effect
 - Verandering van de habitatkwaliteit.
- Weidevogels reageren aantoonbaar op verlichting, de kwaliteit van leefomgeving (habitat) verandert erdoor. Ze nestelen bij voorkeur op enkele honderden meters van de lichtbron. Zolang duisternis te vinden is in een groot deel van de leefomgeving van weidevogels, hoeft een verlichte melkveestal niet als nadelig gezien te worden voor de weidevogelstand.
- Bunzing, hermelijn, vos en muskusrat worden aantoonbaar aangetrokken door licht.
- Vogels en vleermuizen worden aangetrokken door de insecten die op licht af komen.

3. Gebruikte bronnen:

- Van Tichelen P., Remans, K., Bossuyt M., Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, 2007 Milieurapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2007 Lichthinder
- Molenaar J.G. de, R.J.H.G. Henkens, C. ter Braak, C. van Duyne, G. Hoefsloot, D.A. Jonkers, Wageningen, 2003. Wegverlichting en natuur IV: Effecten van wegverlichting op het ruimtelijk gedrag van zoogdieren
- Molenaar, J.G. de / Jonkers, D.A. / Sanders, M.E. | Uitgave: Rijkswaterstaat / Alterra, 2000 Wegverlichting en Natuur III. Lokale invloed van wegverlichting op een gruttopopulatie
- Molenaar, J.G. de, Wageningen, 2003. Lichtbelasting. Overzicht van de effecten op mens en dier

- Matzke, E.B. 1936: The effect of streetlights in delaying leaf fall. Am.J.Bot.

Internetpagina's

<http://www.geluidskaarten.nl>

<http://www.infomil.nl>

<http://www.platformlichthinder.nl>

6. COLOFON

© LTO Noord, januari 2011

Dit rapport is tot stand gekomen met medewerking van:

*** LTO Noord:**

Jurjen Kingma

Wiebren van Stralen

*** TNO:**

Jan Ruigrok

*** WUR Glastuinbouw**

Gert Jan Swinkels

*** Wageningen UR Livestock Research**

Albert Winkel

*** LTO Vastgoed:**

Gert Elling

*** Projecten LTO Noord:**

Margreet Jongema

Sylvia Koenders

Sander Zonderland

Bianca Domhof

Opdrachtgever:

LTO Noord Provincie Fryslân, LTO Noord vakgroep Melkveehouderij

Financiers

Het project "Optimale verlichting van melkveestallen" is financieel mogelijk gemaakt door:
Provincie Fryslân, Productschap Zuivel, LTO Noord Fondsen.