

Kampweg 5  
Postbus 23  
3769 ZG Soesterberg

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 346 35 62 11  
F +31 346 35 39 77  
Info-DenV@tno.nl

## TNO-rapport

**TNO-DV 2008 C238**

## Vergelijking van fietsverlichtingsvormen

Datum	juni 2008
Auteur(s)	dr. A. Toet dr. J. Beintema dr. S.C. de Vries ing. N. van der Leden ing. J.W.A.M. Alferdinck
Opdrachtgever	Ministerie van Verkeer en Waterstaat, dienst DVS
Projectnummer	032.13408
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Titel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Aantal pagina's	84 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	3

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vernenigvuldigd 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.



## Samenvatting

In dit onderzoek werd de opvallendheid van verschillende moderne vormen van fietsverlichting vergeleken met de opvallendheid van enkele conventionele fietslampen, voor verschillende relevante verkeersscenario's en bij verschillende lichtomstandigheden, en voor verschillende manieren van bevestiging. Er werd dus alleen gekeken naar de detecteerbaarheid van de verlichting, omdat deze factor cruciaal is voor de verkeersveiligheid. Factoren als herkenbaarheid en afstandsinschatting werden niet onderzocht.

Conclusies voor de voorverlichting bij fietsen:

- Continu brandend zijn sommige van de bestudeerde voorlichten duidelijk minder opvallend, en andere juist meer opvallend, dan het conventionele voorlicht dat als referentie werd gebruikt.
- Wanneer een voorlamp recht naar voren schijnt maakt het voor zijn opvallendheid niet uit of deze op de kleding of aan de fiets is bevestigd.
- Bij een scheve bevestiging (diagonaal, verticaal of vooroverhellend) is de opvallendheid van een moderne voorlamp doorgaans minder dan bij een horizontale bevestiging.
- Bij een rechtop zittende fietshouding is het licht van een op de borst bevestigd lampje in vrijwel de gehele voorwaartse sector zichtbaar.
- Bij een voorover gebogen fietshouding (zoals die bij een racefietser voorkomt) kan de sector waarbinnen het lampje kan worden gezien met meer dan een derde afnemen. Ook zorgt een gebogen houding voor een kanteling van het lampje waardoor doorgaans de lampjes onder een minder gunstige hoek bekeken worden. De meeste lampjes zijn het helderst in de voorwaartse richting en hun luminantie neemt onder een andere hoek waargenomen vrij snel af. De opvallendheid daalt hierdoor eveneens.
- Knipperend gebruik van voorlampen verhoogt doorgaans hun opvallendheid.
- Er is geen duidelijk verband tussen de knipperfrequentie en de opvallendheid van een fietslamp.

Conclusies voor de achterverlichting bij fietsen:

- Continu brandend zijn alle in dit onderzoek bestudeerde achterlampen qua opvallendheid vergelijkbaar of beter dan de gebruikte conventionele referentie achterlichten.
- Wanneer een achterlamp recht naar achteren schijnt maakt het voor zijn opvallendheid niet uit of deze op de kleding of aan de fiets is bevestigd.
- Bij een scheve bevestiging (diagonaal, verticaal of vooroverhellend) is de opvallendheid van een moderne achterlamp doorgaans minder dan bij een horizontale bevestiging.
- Voor achterlichten draagt knipperlicht weinig bij aan hun opvallendheid.

Overige conclusies:

- Voor bepaalde omgevingen kan een minimaal toelaatbare opvallendheid van fietslampjes worden gedefinieerd, en kunnen de daarbij behorende eisen aan hun lichtsterkte worden bepaald.
- Er is geen noodzaak de opvallendheid van voorlichten te verhogen door ze te laten knipperen.
- Op basis van waarnemingstheorie kunnen de volgende nadelen van knipperende fietsverlichting worden verondersteld:
  - Knipperende fietslampen kunnen de koers- en snelheidsinschatting van een fietser door het andere verkeer bemoeilijken.
  - Knipperende fietslampen kunnen de opvallendheid van hulpdiensten verminderen.

Aanbevelingen:

- Het gebruik van wit licht voor voorlichten van fietsers verdient de voorkeur.
- Continu brandend licht verdient de voorkeur boven het gebruik van knipperend licht.
- Bij bevestiging aan het lichaam van de fietser moet de verlichting bij voortdurende duidelijk zichtbaar zijn.
- Het belang van een deugdelijke bevestiging en correcte uitrichting dient aan de gebruikers duidelijk te worden gemaakt.
- Het belang van een rondom stralende karakteristiek dient bij fabrikanten en leveranciers onder de aandacht te worden gebracht.

## Summary

We compared the visual conspicuity of several different types of modern bicycle lights to the conspicuity of some conventional lights, for several relevant traffic scenarios, for different ambient lighting conditions, and for different ways of mounting the lights. We only investigated the detectability of the lighting, because this is a crucial traffic safety issue. Factors like identifiability and distance estimation were not studied.

For front lights we find:

- Without flicker some of the tested modern front lights are significantly less conspicuous, and others are significantly more conspicuous, than the conventional front light that served as a reference.
- The conspicuity of a front light that shines straight ahead is independent of the way in which it is mounted (i.e. whether it is attached to the bicycle or attached to clothing).
- The conspicuity of a modern front light that is not mounted straight (i.e. diagonally, vertically, or slanted) is usually less than the conspicuity of one that is mounted horizontally.
- For a straight posture of the cyclist a lamp attached to the chest is visible in the entire forward sector.
- A bent-over/slanting posture can decrease the sector in which the lamp can be seen with more than three times. A bent-over posture also causes the lamp to slant. Since most lamps radiate strongest (have highest luminance) in the forward direction, a slant will also cause the lamp to appear less bright, and therefore less conspicuous.
- In most cases flicker raises the conspicuity of front lights.
- There is no clear relation between flicker frequency and conspicuity.

For rear lights we find:

- Without flicker all tested modern rear lights are just as, or even more, conspicuous than the conventional rear lights that served as a reference.
- The conspicuity of a rear light that shines straight ahead is independent of the way in which it is mounted (i.e. whether it is attached to the bicycle or attached to clothing).
- The conspicuity of a modern rear light that is not mounted straight (i.e. diagonally, vertically, or slanted) is usually less than the conspicuity of one that is mounted horizontally.
- Flicker does not contribute significantly to the conspicuity of rear lights.

Other conclusions:

- Norms can be defined for the conspicuity of bicycle lights in a given environment, and the corresponding functional requirements for their luminous intensity can be formulated.
- There is no need to increase the conspicuity of front light by using flicker.
- Visual perception suggests the following disadvantages of flickering bicycle lights:
  - Flickering bicycle lights make it harder for other road users to estimate the speed and trajectory of a bicycle.
  - Flickering bicycle lights may reduce the conspicuity of emergency services.

Recommendations:

- Front bicycle lights should be white.
- Bicycle lights should not flicker.
- When attached to clothing, bicycle lights should be visible at all times.
- The importance of proper ways of attachment and alignment should be communicated to the users.

The importance of an isotropic radiation characteristic should be communicated to producers and dealers.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting</b> .....	<b>3</b>
	<b>Summary</b> .....	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>9</b>
1.1	Methodiek .....	10
<b>2</b>	<b>Literatuurstudie</b> .....	<b>13</b>
2.1	Voorschriften en normen voor fietsverlichting .....	13
2.2	Functies van fietsverlichting .....	13
2.3	Fietsverlichting en verkeersveiligheid .....	13
2.4	Ongevalsscenario's .....	14
<b>3</b>	<b>Inventarisatie, lichtmetingen en selectie</b> .....	<b>15</b>
3.1	Inventarisatie en selectie .....	15
3.2	Bundelmetingen .....	15
<b>4</b>	<b>Opvallendheidsmetingen</b> .....	<b>17</b>
4.1	Het begrip opvallendheid .....	17
4.2	Het meten van opvallendheid .....	17
4.3	Afhankelijkheden .....	18
4.4	Meetopstelling .....	19
4.5	Meetlocaties .....	20
4.6	Verkeersscenario's .....	23
4.7	Nadering van voren of van achteren .....	24
4.8	Kruisend verkeer .....	26
<b>5</b>	<b>Meetresultaten</b> .....	<b>29</b>
5.1	Omgevingsverlichting .....	29
5.2	Scenario 'kruisende fietser' in stedelijke omgeving .....	29
5.3	Scenario 'kruisende fietser' in landelijke omgeving .....	31
5.4	Scenario 'kruisende fietser' op 45 graden in landelijke en stedelijke omgeving .....	31
5.5	Scenario 'naderen van een fietser in tegengestelde rijrichting' .....	33
5.6	Scenario 'naderen van een fietser in dezelfde rijrichting' .....	33
5.7	Effect van knippen .....	34
5.8	Effect van schuine stand van het achterlicht .....	36
5.9	Invloed van waarnemingsafstand .....	40
5.10	Invloed van intensiteit .....	42
5.11	Invloed van batterijspanning .....	45
5.12	Invloed van bevestigingswijze .....	45
<b>6</b>	<b>Zichtbaarheid</b> .....	<b>47</b>
6.1	Normen .....	47
6.2	Berekening van de zichtbaarheid .....	48
6.3	Afdekking van de verlichting .....	50
6.4	Achterlichten en wettelijke normen .....	53
<b>7</b>	<b>Conclusies</b> .....	<b>57</b>

<b>8</b>	<b>Discussie.....</b>	<b>59</b>
8.1	Absolute criteria.....	60
8.2	Fluctuaties in opvallendheid bij kruisingen.....	60
8.3	Beweging.....	61
8.4	Invloed weersomstandigheden.....	61
8.5	Schuine montage achterlamp.....	61
<b>9</b>	<b>Aanbevelingen.....</b>	<b>63</b>
9.1	Normen voor fietsverlichting.....	63
9.2	Zichtbaarheid.....	63
9.3	Bevestiging.....	63
9.4	Knippen.....	64
9.5	Kleur.....	64
<b>10</b>	<b>Referenties.....</b>	<b>65</b>
<b>11</b>	<b>Ondertekening.....</b>	<b>69</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Aangeschafte fietsverlichting	
	B Luminantieopnamen	
	C Bundelmetingen	



# 1 Inleiding

Van oudsher worden er voor fietsverlichting gloeilampen gebruikt, met een dynamo als stroomvoorziening. Recent verschenen nieuwe soorten lampen op de markt zoals LED (Light Emitting Diode) fietsverlichting, terwijl er voor de stroomvoorziening steeds vaker gebruik wordt gemaakt van batterijen. Verder kwamen er lampjes op de markt die aan de kleding of aan een tas bevestigd kunnen worden. Ook kunnen de nieuwe typen lampjes vaak knipperen.

Het doel van fietsverlichting is om tijdens duisternis het zicht van de berijder zelf op de weg, en zijn of haar zichtbaarheid voor de overige weggebruikers te vergroten. In het huidige drukke verkeer en bij de huidige straatverlichting is het tweede doel het belangrijkste. In het hier voorgestelde onderzoek zal daarom uitsluitend de zichtbaarheid van de fietser voor andere weggebruikers worden bepaald.

Aan de zichtbaarheid van fietsers kunnen verschillende aspecten worden onderscheiden:

- Detectie: overige verkeersdeelnemers moeten (vaak al in het perifere gezichtsveld) de fietser tijdig kunnen opmerken.
- Herkenbaarheid: overige verkeersdeelnemers moeten herkennen dat het om een fietser gaat.
- Inschatting van afstand en snelheid: overige verkeersdeelnemers moeten kunnen inschatten hoe ver de fietser verwijderd is en hoe snel deze nadert.

Het meest cruciaal voor de veiligheid is de detectie. Gezien het korte tijdsbestek waarin dit onderzoek uitgevoerd moest worden hebben we uitsluitend de detecteerbaarheid van verschillende vormen van fietsverlichting kunnen bepalen (Toet et al., 1998; Toet & Bijl, 2003; Toet & Kooi, 1999).

In het vervolg gebruiken we de term opvallendheid. Opvallendheid is een maat voor de detecteerbaarheid van objecten, die ook in realistische (dynamische) omgevingen efficiënt en nauwkeurig bepaald kan worden. Uit eerder onderzoek is gebleken dat de opvallendheid van een object in een bepaalde omgeving kenmerkend is voor de tijd die iemand gemiddeld nodig heeft om dat object op te merken. Het doel van dit onderzoek is het bepalen van de opvallendheid van verschillende vormen van fietsverlichting (waaronder alternatieve).

TNO Defensie en Veiligheid, Business Unit Human Factors heeft veel ervaring op het gebied van het meten van de opvallendheid van verschillende objecten (ambulances, wegwerkerjasjes, verkeersborden, spoorwegbomen, dienstwagens, LED lampjes in fietstrappers, et cetera) in het verkeer (bijvoorbeeld Alferdinck et al., 2004; Alferdinck et al., 2005; Alferdinck et al., 2006; Kooi et al., 1998; Toet et al., 2003; Toet & Varkevisser, 2001; Toet & Varkevisser, 2003a; Toet & Varkevisser, 2003b).

Bij verkeersvraagstukken speelt de gemiddelde remweg bij de ter plekke toegestane maximum snelheid vaak een belangrijke rol (het zogenaamde stopzicht). Wanneer de opvallendheid, zoals die in het hier voorgestelde onderzoek wordt gemeten, uitgedrukt in de visuele hoek kleiner is dan 90° dan kan deze worden omgerekend in een detectieafstand. Dit maakt het mogelijk criteria af te leiden voor de minimaal toelaatbare opvallendheid van fietsverlichting (bijvoorbeeld dat de detectieafstand altijd groter moet zijn dan de gemiddelde remweg bij een toegestane maximumsnelheid).

Het opstellen van de relevante criteria voor de verschillende scenario's maakte eveneens deel uit van dit project.

## 1.1 Methodiek

Eerst vond er een inventarisatie plaats waarin werd onderzocht welke typen lampen er ten tijde van het onderzoek commercieel verkrijgbaar waren. Er werd een representatieve set lampen aangeschaft (zie bijlage A: Aangeschafte fietsverlichting). In het laboratorium werden lichtmetingen uitgevoerd op deze lampen, waarbij de lichtsterkte, en de bundelvorm werden bepaald (zie ook bijlage C: Bundelmetingen). Mede op basis van de bevindingen uit de lichtmetingen werd een beperkt deel van de totale set lampen geselecteerd (de set werd zodanig samengesteld dat er lampen met verschillende bundelvormen, lichtsterkten, en kleuren in voorkwamen, en dus een representatieve doorsnede vormt van wat er ten tijde van dit onderzoek commercieel verkrijgbaar was; zie tabel 1) en gebruikt voor alle verdere testen die in dit onderzoek werden uitgevoerd. Deze selectie, die we in het vervolg zullen aanduiden met de term 'testset', bestond uit 9 verschillende voorlichten en 9 verschillende achterlichten, met uiteenlopen de lichtintensiteiten en bundelkarakteristieken. De testset werd samengesteld in overleg met leden van een klankbordgroep. Deze klankbordgroep bestond uit medewerkers van Verkeer en Waterstaat (DGP, RWS-DVS), BVOM (Bureau Verkeershandhaving Openbaar Ministerie), NPI (Nederlands Politie Instituut), SWOV (Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid) en de Fietsersbond.

Er werd een literatuurstudie gedaan om na te gaan wat er momenteel bekend is over de bijdrage van fietsverlichting aan de veiligheid van fietsers, en in het bijzonder voor nieuwe vormen van fietsverlichting, zowel in binnen- als ook in buitenland.

Verder werd er een experiment uitgevoerd waarbij de opvallendheid van de verschillende typen lampen in de testset bij duisternis werd gemeten:

- In twee verschillende karakteristieke omgevingen.
- Voor verschillende wijzen van bevestiging.
- Voor verschillende verkeersscenario's.

De eerste omgeving was een representatieve stedelijke omgeving, met een straatverlichting zoals die gebruikelijk is binnen de bebouwde kom.

De tweede omgeving was een representatieve landelijke omgeving, waarin geen of beperkte straatverlichting aanwezig was, zoals vaak het geval is op wegen buiten bebouwde kom.

De opvallendheid van de fietsverlichting werd gemeten voor verschillende bevestigingswijzen:

- Verlichting bevestigd aan een paal, op een manier die vergelijkbaar is met de bevestiging van conventionele fietsverlichting (zelfde hoogte en stand als bij bevestiging aan een fiets).
- Op de borst van de fietser bevestigd aan een diagonaal over de borst lopende draagband van een tas.

Verder werd de verlichting zowel stationair brandend als ook knipperend (indien de lamp die functionaliteit bezat) getest.

De opvallendheid van fietsverlichting werd tevens getest in verschillende statische condities, die overeenkwamen met momentopnamen van de volgende dynamische verkeersscenario's:

- Verkeer in dezelfde richting (de fietser beweegt zich voort langs de kijkrichting, of onder een kleine hoek met de kijkrichting, en van de waarnemer af, zodat de waarnemer voornamelijk het achterlicht ziet).
- Verkeer in tegengestelde richting (de fietser beweegt zich voort langs de kijkrichting, of onder een kleine hoek met de kijkrichting, en naar de waarnemer toe, zodat de waarnemer voornamelijk het voorlicht ziet).
- Kruisend verkeer (de fietser beweegt zich loodrecht voort op de kijkrichting van de waarnemer).
- Afslaand verkeer (de waarnemer slaat rechts af en kruist een fietser die op een parallel aan de rijbaan gelegen fietspad rechtdoor rijdt).

Deze scenario's zijn gekozen op basis van de meest voorkomende botstypen (zie sectie 4.6 voor een toelichting op deze keuze en een schematische weergave van de verschillende scenario's). Verder werd er gekozen voor een statische benadering omdat er voor dynamische metingen een groot aantal herhalingen en proefpersonen nodig zijn, hetgeen dergelijke experimenten praktisch niet uitvoerbaar maakt.



## 2 Literatuurstudie

### 2.1 Voorschriften en normen voor fietsverlichting

In de wet staat dat fietsers bij duisternis en bij slecht zicht, bijvoorbeeld bij mist, verplicht zijn om met licht aan te rijden. Het licht aan de voorzijde van de fiets moet wit of geel zijn, en het achterlicht rood. De verlichting moet aan de fiets zijn bevestigd en mag niet knipperen. Verder moet het licht aan de voorzijde van de fiets zodanig zijn afgesteld dat het overige verkeer daardoor niet kan worden verblind. Tenslotte zijn reflectoren achter op de fiets, op de trappers en aan de zijkant van de wielen verplicht.

Er bestaan geen normen voor de verlichting aan de voorzijde van een fiets. Het achterlicht en de reflectoren dienen wel goedgekeurd te zijn. De eisen waaraan deze dienen te voldoen staan geformuleerd in twee internationale ISO-normen die kwantitatieve fotometrische eisen stellen aan achterlichten (ISO, 1987) en fietsreflectoren (ISO, 1985). Verder is er een 'Regeling toelatingseisen voertuigonderdelen' van het Ministerie van Rijkswaterstaat waarin de eisen worden gesteld aan achterlichten en reflectoren (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994). In het Voertuigreglement (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008) wordt naar deze regeling verwezen.

### 2.2 Functies van fietsverlichting

De voorlamp heeft oorspronkelijk een tweeledige functie: het verlichten van het wegdek onmiddellijk vóór de fietser zodat deze in staat is tijdig obstakels op en oneffenheden in het wegdek te onderscheiden, en het zichtbaar maken van de fietser voor de overige weggebruikers. Een voorlamp met een lichtbundel die tevens naar links en naar rechts straalt zorgt er bovendien voor dat de fietser ook van opzij door andere weggebruikers kan worden gezien. Omdat de voorlamp ook een verlichtingsfunctie, en dus een verblindende werking op medeweggebruikers (tegenliggers) kan hebben, dient deze schuin naar beneden gericht te zijn afgesteld. In praktijk wordt in de fietshandel soms de vuistregel gehanteerd dat de bundel van de voorlamp op ongeveer 4 m voor de fiets op het wegdek gericht moet zijn.

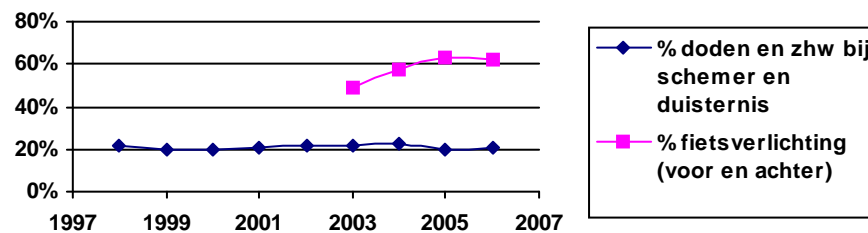
Het rode achterlicht dient als waarschuwingssignaal voor het achteropkomende verkeer. Het hoort een officieel goedkeuringsmerk te hebben. De nieuwe generatie achterlichten met LED's hebben dit keurmerk meestal (nog) niet.

### 2.3 Fietsverlichting en verkeersveiligheid

Figuur 1 geeft het percentage geregistreerde doden en ziekenhuisgewonden onder fietsers dat bij duisternis en schemer viel in de periode 1998-2006. Het blijkt dat dit percentage al jaren rond de 20% schommelt (bron DVS), terwijl het percentage fietsers dat correcte fietsverlichting voert de afgelopen jaren is gestegen (AVV, 2007; Brink, 2006: zie ook figuur 1). Hiervoor zijn verschillende verklaringen mogelijk. Fietsers zonder fietsverlichting kunnen in het donker voorzichtiger fietsen (risicocompensatie). Mogelijk heeft fietsverlichting een positief effect maar is het effect te klein om met de stijging van correcte fietsverlichting over de afgelopen jaren te leiden tot een meetbare verandering in ongevalcijfers. Schoon (Schoon, 2003) neemt aan dat er een afname van 8% is te verwachten van het aantal fietsslachtoffers dat bij duisternis valt wanneer alle fietsers in

die omstandigheden op een correcte wijze voor- en achterverlichting zouden voeren. Het gaat hier slechts om een schatting. Tot op heden is er echter geen literatuur waarin een relatie wordt gelegd tussen het voeren van fietsverlichting en de verkeersveiligheid.

Een uitgebreide literatuurzoekopdracht naar Nederlands-, Duits- en Engelstalige publicaties over de detecteerbaarheid, zichtbaarheid, en opvallendheid van verschillende vormen van fietsverlichting leverde alleen referenties op naar patenten. Er werden geen publicaties gevonden over vergelijkende studies naar de bijdrage van verlichting aan de opvallendheid van fietsers bij duisternis. Wel werd er een onderzoek gevonden waarin de uitstralingskarakteristiek, lichtopbrengst en gebruiksgemak van verschillende vormen van fietsverlichting werd getest (Fikuart & Fahlau, 2005). Het betrof hier echter alleen fietsverlichting die aan de fiets dient te worden bevestigd.



Figuur 1 Aandeel van de geregistreerde doden en ziekenhuisgewonden onder fietsers bij duisternis en schemer (bron DVS).

## 2.4 Ongevalseenario's

Het meest voorkomende botstypen is het ongeval waarbij de fietser links in de flank door het front van een auto wordt geraakt (Schoon, 2003; van Kampen & Schoon, 2002). De meeste fietsongevallen met personenauto's vinden op kruispunten plaats waarbij wordt overgestoken (aandeel 32%). Afslaan op kruispunten is verantwoordelijk voor 19% van het aantal ongevallen. Bij elkaar vallen op kruispunten 50% van de ongevallen. Botsingen als gevolg van het afslaan op dezelfde weg zijn verantwoordelijk voor ruim een derde van het aantal ongevallen.

In het hier gerapporteerde onderzoek wordt voor de vergelijking van verschillende soorten fietsverlichting uitgegaan van het criterium opvallendheid. Dit criterium is gekozen omdat het op basis van de theorie over de menselijke waarneming kan worden gerelateerd aan de verkeersveiligheid. Een fietslamp die opvallend is zal namelijk gemiddeld eerder (lees: in een vroeger stadium in mogelijke conflictsituaties) worden waargenomen door een medeweggebruiker dan een lamp die niet opvallend is. Het is duidelijk dat dit de verkeersveiligheid ten goede zal komen. Het aantonen van een directe relatie tussen (vormen van) fietsverlichting en de verkeersveiligheid valt echter buiten het kader van dit onderzoek.

## 3 Inventarisatie, lichtmetingen en selectie

### 3.1 Inventarisatie en selectie

Op de consumentenmarkt is een breed scala aan fietsverlichting verkrijgbaar. Om een goed overzicht te krijgen wat er op de markt is, werden er in verschillende winkels fietslampen gekocht. In totaal werden 35 verschillende voor- en achterlampen aangeschaft (voor details zie bijlage A: Aangeschafte fietsverlichting).

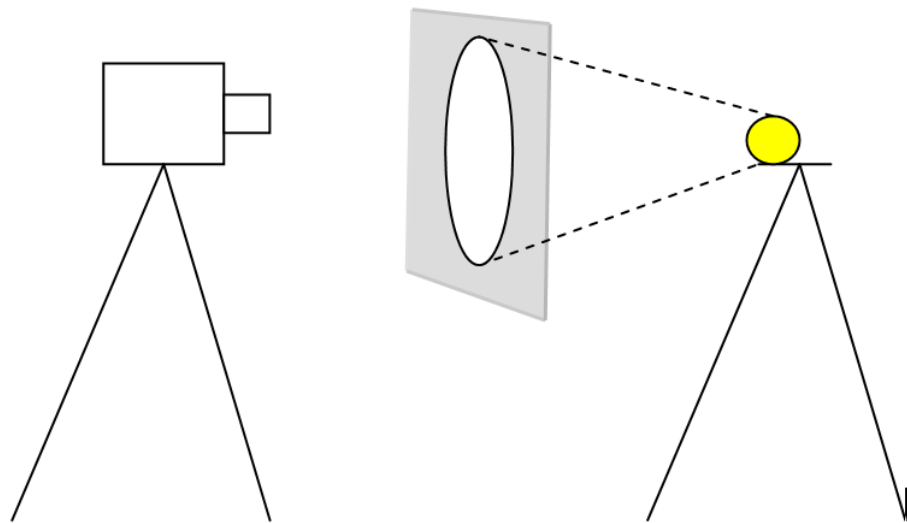
Er zijn ook reflecterende armbanden met rode LED's erin verkrijgbaar. Deze laten we echter buiten beschouwing in de huidige studie.

Het was in het korte tijdsbestek van deze studie niet mogelijk om de opvallendheid van alle aangeschafte fietslampen te meten. Om een representatieve selectie te kunnen maken uit de beschikbare fietsverlichting werd de uitstralingskarakteristiek van de verschillende lampen bestudeerd (zie sectie 3.2). Uit de metingen bleek dat er een grote diversiteit bestaat tussen de verschillende fietslichten. Aan de hand van de metingen werden er 9 voorlampen en 9 achterlampen geselecteerd. De testset werd zodanig samengesteld dat er lampjes in voorkwamen met verschillende lichtsterkten, bundelvormen en kleuren.

### 3.2 Bundelmetingen

Om de stralingskarakteristiek (het bundelprofiel) van de lampen te bepalen werden de lampjes op een statief geplaatst, op enige afstand van een mat doorzichtscherf. De ene kant van het scherm werd door de lichtbundel verlicht, terwijl de andere kant van het scherm vervolgens als lichtbron optrad. Aan deze laatste zijde stond een luminantiecamera (de TechnoTeam Bildverarbeitung LMK96: [www.technoteam.de](http://www.technoteam.de)) opgesteld die de luminantie van het scherm mat. In tegenstelling tot een gewone luminantiemeter neemt deze luminantiecamera een 'foto' waarvan de beeldpunten geijkte luminantiewaarden representeren.

De (relatieve) lichtsterkte van de lamp in de verschillende richtingen wordt dus vertaald in een meting van de luminantie (helderheid, in  $\text{cd/m}^2$ ) op verschillende locaties van de achterzijde van het scherm. Omdat het doorzichtscherf diffuse transmissie-eigenschappen heeft gaan we er van uit dat de lichtsterkte van de lamp direct gerelateerd is aan de gemeten luminantie van het scherm.



Figuur 2 Diagram van de opstelling van de bundelmetingen.

In deze sectie beschrijven we de visuele weergave van de lichtbundels en geven we een indicatie van de ruimtelijke verdeling van het licht van de lampen.

Het scherm was 1,09 m breed en 1,46 m hoog. Wanneer het vooraanzicht van de lamp gemeten werd, bevond zijn voorkant zich op circa 65 cm van het scherm en bestreek het scherm horizontaal een hoek van  $97^\circ$  van de lampbundel. Na vastlegging van de frontale bundelvlak door de luminantiecamera werd het statief een kwartslag gedraaid en werd de zijwaartse uitstraling van de lamp gemeten. Door de draaiing kwam de lamp circa 5 cm verder van het scherm te staan en bestreek het scherm een sector van ongeveer  $92^\circ$ . Aangezien de lampen allemaal symmetrisch gebouwd zijn, hebben we met deze procedure inzicht in de verspreiding van het licht over een gebied van meer dan  $270^\circ$ . Alleen de sector recht achter de lamp is niet gemeten, maar uitstraling in die richting bleek bij geen enkele geteste lamp aanwezig.

De resultaten van de metingen staan afgebeeld in bijlage C: Bundelmetingen. Vanwege de grote verschillen die binnen de lichtbundels zelf en tussen de lampen onderling bestaan, zijn de waarde semi-logaritmisch geschaald. De formule die voor deze schaling werd gebruikt is:

$$L_s = \frac{\text{Log}(L+0.001) - \text{Log}(0.001)}{\text{Log}(1600.001) - \text{Log}(0.001)} \quad (1)$$

Waarin  $L$  en  $L_s$  respectievelijk de gemeten en de geschaalde luminantiewaarden ( $\text{cd/m}^2$ ) voorstellen. De schaalfactor 1600 werd gekozen omdat dit net iets meer is dan de maximale waarde die in alle metingen werd aangetroffen. Met deze bewerking worden alle meetwaarden teruggeschaald tussen 0 en 1 met een logaritmische accentuatie van de kleinere waarden. De term 0.001 in de teller en de noemer zorgt voor een goed gedrag van de schaling bij zeer kleine luminantiewaarden (de 0 komt voor als meetwaarde en de log van 0 is, zoals bekend,  $-\infty$ ).



## 4 Opvallendheidsmetingen

### 4.1 Het begrip opvallendheid

Het criterium dat we in dit onderzoek hanteren bij vergelijking van verschillende vormen van fietsverlichting is de opvallendheid ervan in vergelijking met de opvallendheid van conventionele fietsverlichting. Voor fietslichten is het niet eenvoudig mogelijk om een absolute eis voor de opvallendheid te formuleren. Ten eerste is opvallendheid afhankelijk van de context. In een omgeving met veel andere lichtbronnen zal een fietslampje namelijk minder opvallen dan in een gering verlichte omgeving. Ten tweede werd de opvallendheid in dit onderzoek om praktische redenen gemeten voor statische lampjes. Het is niet onderzocht hoe deze metingen gerelateerd zijn aan een dynamische situatie waarin zowel de automobilist als de fietser in beweging zijn.

Een lichtbron is detecteerbaar als een waarnemer die direct naar de lichtbron kijkt deze ook inderdaad kan opmerken. Een goed detecteerbare lichtbron hoeft echter in het geheel niet opvallend te zijn. Een zwak brandend lampje kan bijvoorbeeld uitstekend worden gezien als je er direct naar kijkt en weet waar het zich bevindt, maar zal meteen overstraald worden door feller brandende omringende lampjes zodra je je blik van het lampje afwend. Om te weten of een fietser goed zichtbaar is kan men daarom niet volstaan met het meten van de detecteerbaarheid van de fietsverlichting. Zeker bij het naderen van een kruising, maar ook bij nadering van achteren of van voren, weet een medeweggebruiker in praktijk immers nog niet of en waar er een fietser aanwezig is. Een weggebruiker zal in praktijk daarom voortdurend de verkeerssituatie observeren, en dus een soort visueel zoekgedrag vertonen. Een maat die goed blijkt te correleren met de prestatie van waarnemer in visuele zoektaken is de zogenaamde opvallendheid: een hoekmaat die aangeeft hoe ver in het perifere gezichtsveld een object nog kan worden opgemerkt (Toet & Bijl, 2003). Het voordeel van deze maat is dat hij eenvoudig, snel en reproduceerbaar te meten is met een gevalideerde meetprocedure en slechts enkele waarnemers (Toet et al., 1998; Toet & Bijl, 2003; Toet & Kooi, 1999). In het kort komt deze methode erop neer dat de maximale afstand (in graden visuele hoek) in het perifere gezichtsveld wordt bepaald waarop men het object nog juist kan onderscheiden van zijn directe achtergrond. Het is gebleken dat deze hoek, de perifere grenshoek, een directe maat is voor de gemiddelde tijd die waarnemers in verschillende zoek- en detectietaken nodig hebben om een bepaald object op te merken (Toet et al., 1998; Toet & Kooi, 1999). Een object dat opvallend is wordt eerder opgemerkt dan een object dat minder opvallend is. De aldus bepaalde opvallendheid is nauw verwant aan het begrip 'opvallendheidsgebied', hetgeen operationeel is gedefinieerd als het gebied rond het centrale fixatiepunt waarbinnen men een object kan waarnemen in een enkele oogopslag (Engel, 1971; Engel, 1974; Engel, 1977).

### 4.2 Het meten van opvallendheid

Alle opvallendheidsmetingen werden verricht bij duisternis, tenminste een half uur na zonsondergang. Er werd bewust voor gekozen om geen metingen uit te voeren bij schemering, aangezien in dergelijke omstandigheden de omgevingsluminantie snel en sterk varieert en het dus niet mogelijk is om bij schemering meerdere metingen onder gelijke condities uit te voeren. Voor elke conditie werden de metingen enkele malen herhaald, onder vergelijkbare omstandigheden, door tenminste twee waarnemers.

In alle gevallen kwamen de metingen van de verschillende waarnemers goed overeen. De in dit rapport vermelde waarden zijn derhalve het gemiddelde van de afzonderlijke metingen.

In de praktijk verloopt een opvallendheidsmeting van een stilstaand object als volgt. Een waarnemer fixeert eerst een punt in de scène dat (*a*) ligt op de horizontaal door het object, en (*b*) zo ver van het object verwijderd is dat het object aanvankelijk niet wordt waargenomen. Vervolgens verplaatst de waarnemer zijn fixatiepunt langzaam in horizontale richting naar het object, tot dit juist kan worden onderscheiden. De (hoek-) afstand tussen het object en het fixatiepunt waarbij het object voor het eerst wordt opgemerkt, wordt geregistreerd als maat voor de opvallendheid. Het idee achter deze meetprocedure is het feit dat een waarnemer zeer opvallende objecten al vanuit zijn ooghoeken kan opmerken, terwijl minder opvallende objecten pas zullen worden opgemerkt wanneer ze meer centraal in het gezichtsveld van de waarnemer komen te liggen.

Bij een opvallendheidsmeting zijn er tenminste twee criteria mogelijk. Ten eerste kan de waarnemer zich afvragen of het object kan worden waargenomen (gedetecteerd). De aldus bepaalde opvallendheidsmaat wordt aangeduid als *detectie-opvallendheid*. Ten tweede kan de waarnemer zich de vraag stellen of het object ook daadwerkelijk herkend (geïdentificeerd) kan worden. De hiermee corresponderende opvallendheidsmaat wordt aangeduid als de herkenningsovallendheid. In het hier beschreven onderzoek werd uitsluitend de detectie-opvallendheid gemeten. De reden hiervoor is, dat het in eerste instantie van belang is dat een fietslamp de aandacht van een medeweggebruiker trekt. De fietslamp dient niet noodzakelijkerwijs meteen als zodanig herkend te worden. De herkenning zal pas plaatsvinden wanneer de verkeersdeelnemer vervolgens het centrum van zijn blikveld op de lamp richt.

De opvallendheidsmetingen werden in dit onderzoek verricht door 4 geroutineerde visueel deskundigen, die langdurige ervaring hebben met dergelijke metingen in de praktijk. Dit is ook nodig omdat het bepalen van de opvallendheid van objecten in het vrije veld enige training vereist.

Bij de opvallendheidsmetingen werd gebruik gemaakt van een Leica Vector-1500 DAES kijker met ingebouwde laserafstandmeter en hoekmeter. Deze kijker werd gebruikt om de afstand tussen de waarnemer en de waarschuwingsslampen, en om de perifere grenshoek te bepalen tussen het centrum van een lamp en het gefixeerde punt in de scène waarop de lamp nog juist zichtbaar is.

### 4.3 Afhankelijkheden

De voornaamste afhankelijkheden die we in dit onderzoek hebben meegenomen zijn:

- 1 de omgevingsverlichting (stedelijk of landelijk);
- 2 het effect van knipperende versus continu brandende verlichting, en
- 3 de hoek waaronder de fietslamp op een gegeven moment wordt waargenomen.

De afhankelijkheid van de opvallendheid van fietsverlichting als functie van

- 1 de batterijspanning (zoals een halfvolle batterij), en
- 2 de hoek waaronder een lampje op het lichaam wordt gedragen is slechts ten dele onderzocht.

De opvallendheid van een fietslicht (uitgedrukt in de perifere grenshoek) hangt af van verschillende factoren. Primair wordt de opvallendheid bepaald door de mate waarin het fietslicht van zijn directe omgeving verschilt (contrasteert met of afsteekt tegen zijn achtergrond). Hierbij spelen visuele aspecten als verschillen in lichtsterkte en kleur, alsmede temporele aspecten zoals bewegingsnelheid en knipperfrequentie een rol. De verkeerssituatie bepaalt de afstand en de hoek waaronder de fietslamp op een gegeven moment wordt waargenomen door een medeweggebruiker. Met een toename van de waarnemingsafstand zal de opvallendheid van een fietslamp afnemen door (1) de afnemende verlichtingssterkte van de fietslamp op het oog van de waarnemer en (2) de afnemende ruimtehoek tussen de fietslamp en afleidende lichtbronnen (straatverlichting, verkeerslichten, verlichting van overige weggebruikers, etalage- of bushokjesverlichting et cetera) in de directe omgeving van de fietslamp (de hele scene waarin de fiets zich bevindt wordt op een kleiner deel van het netvlies van de waarnemer afgebeeld waardoor de ruimtehoek tussen de fietslamp en de overige lichtbronnen in de omgeving afneemt). Door de beperkte zijwaartse straling van een fietslamp is een fietser over het algemeen slecht te zien van de zijkant. In de praktijk spelen nog andere factoren een rol, zoals een mogelijke afdekking van het fietslicht door de fietser zelf, door andere verkeersdeelnemers of door obstakels of bebouwing langs de weg (met name bij kruisingen). Daarnaast speelt kan maskering of zelfs verblinding door lichten van andere verkeersdeelnemers een rol spelen. Verder kunnen atmosferische omstandigheden het zicht belemmeren (regen, mist), en kunnen spiegelingen in het wegdek of zijruit (denk aan de automobilist die de fietser moet waar kunnen nemen door een met regendruppels bedekte zijruit) de waarneming hinderen.

#### 4.4 Meetopstelling

De fietslampjes werden aan een verticaal georiënteerde paal bevestigd die aan een in hoogte verstelbaar statief was gemonteerd (figuur 3). Bij de metingen werd de oriëntatie en hoogte van de lampjes zodanig ingesteld dat deze vergelijkbaar waren met de oriëntatie en hoogte die de lampjes zouden hebben wanneer ze aan een standaard fiets gemonteerd zouden zijn.

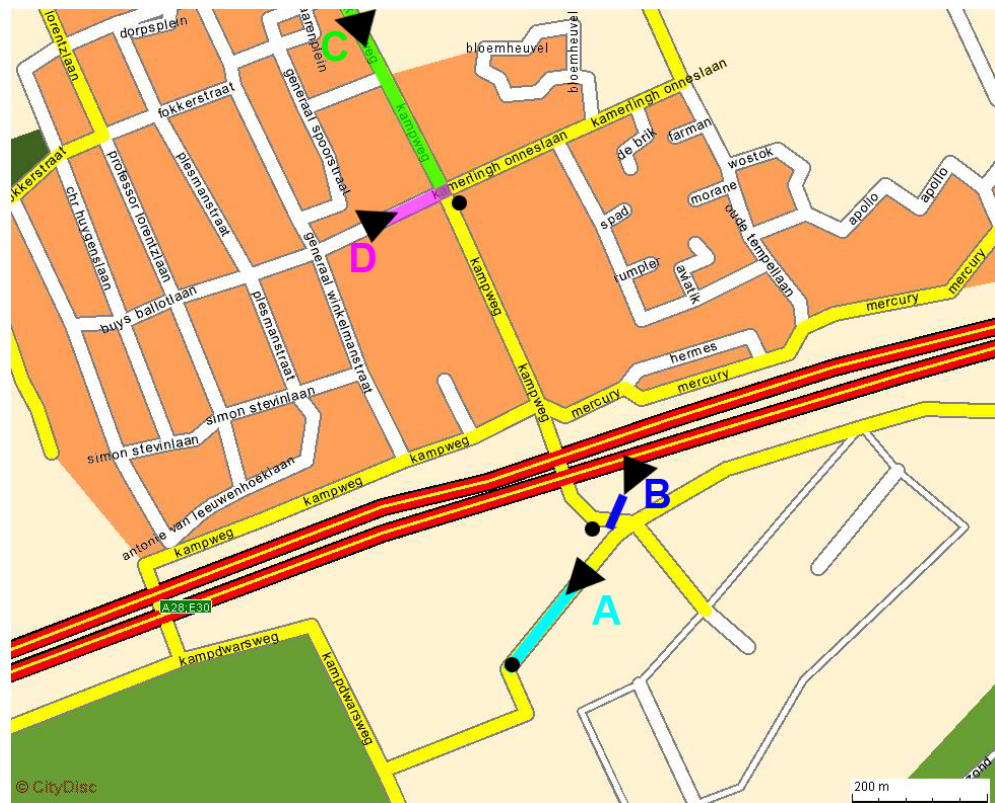
De metingen werden uitgevoerd bij de maximale te verwachten spanning, dat wil zeggen 6 volt voor een standaard gloeilamp en volgeladen batterijen bij de LED lampjes.



Figuur 3 De geselecteerde lampjes in de meetopstelling.

De voor- en achterlampen werden voor de metingen genummerd. V staat voor voorlicht, en A staat voor achterlicht, terwijl K staat voor knipperend. In de grafieken met de resultaten zullen deze labels verder worden gebruikt.

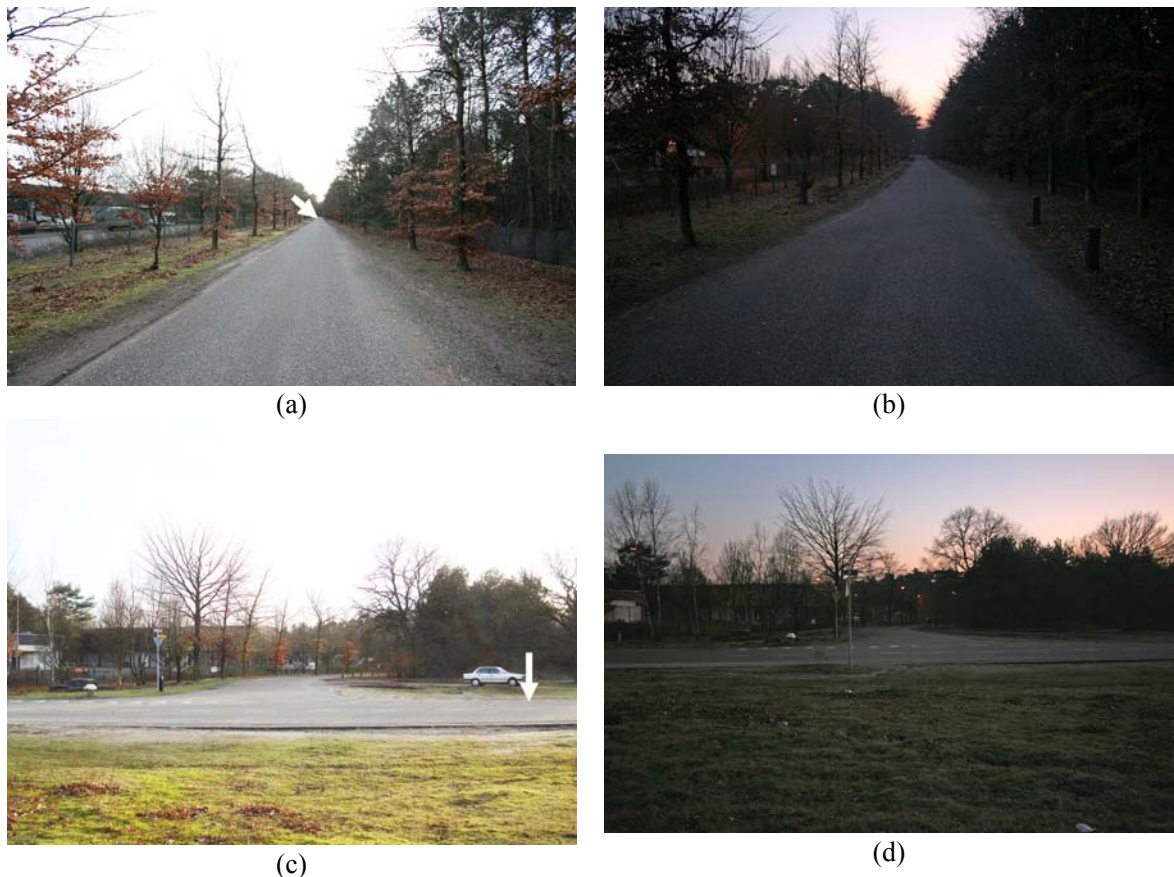
#### 4.5 Meetlocaties



Figuur 4 De locaties waarop de opvallendheidsmetingen zijn verricht.

De opvallendheidsmetingen zijn uitgevoerd in Soesterberg. De gekleurde lijnstukken in figuur 4 geven de wegsegmenten aan waarop de metingen zijn uitgevoerd. De positie van de fietslampjes wordt aangegeven door de zwarte stippen. De pijlen geven de kijkrichting aan van de waarnemers op de verschillende locaties.

De letters A en B geven de locaties aan die karakteristiek zijn voor een landelijke omgeving (de Kampdwarsweg te Soesterberg). Hier bestaat de achtergrond uit bebossing en laag struikgewas, met enkele zwakke hogedruk natrium-straatlantaarns op een bedrijventerrein aan de linkerkant van de weg.



Figuur 5 De locaties A (boven) en B (onder) uit figuur 4 bij dag (a,c) en bij avond (b,d).

Op locatie A (zie figuur 5a,b) werden opvallendheidsmetingen uitgevoerd volgens het scenario 'naderen van een fietser in dezelfde en tegengestelde rijrichting' gemeten, en op locatie B (zie figuur 5c,d) volgens het scenario 'kruisende fietser'.

De letters C en D geven de locaties aan die karakteristiek zijn voor een stedelijke omgeving (de Kampweg te Soesterberg). Hier bestaat de achtergrond uit heldere lagedruk natrium-straatverlichting, verlichte bushokjes en verlichte vensters van huizen. Op de Kamerlingh Onneslaan is witte TL straatverlichting aanwezig.





Figuur 6 De locatie C uit figuur 4, op twee verschillende afstanden (a,b: 100m en c,d: 50 m), bij dag (a,c) en bij avond (b,d) voor het scenario 'naderen van een fietser in dezelfde rijrichting'.

Op locatie C werd op twee afstanden het scenario 'naderen van een fietser in dezelfde rijrichting' gemeten, en op locatie D het scenario 'kruisende fietser'.



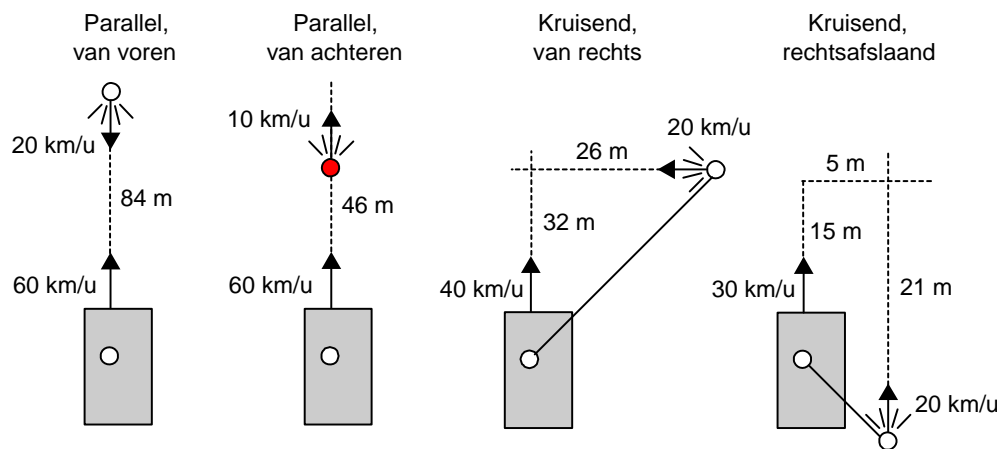
Figuur 7 De locatie D uit figuur 4, bij dag (a) en bij avond (b), voor het scenario 'kruisende fietser'.

#### 4.6 Verkeersscenario's

Voor het vergelijken van opvallendheid van diverse typen fietsverlichting is het van belang dat de metingen worden verricht volgens representatieve verkeersscenario's. In samenspraak met Rijkswaterstaat werden daarom vier relevante verkeerssituaties gekozen, te weten (zie figuur 8):

- 1 een automobilist die een fietser van voren nadert;
- 2 een automobilist die een fietser van achteren nadert;
- 3 een fietser die een kruising van rechts nadert, en
- 4 een automobilist die rechts afslaat en een fietser kruist die op een parallel aan de rijbaan gelegen fietspad rechtdoor rijdt.

Uit literatuur blijkt dat de meeste botsingen tussen automobilisten en fietsers ontstaan in kruisende situaties waarbij de fietser vanuit een zijweg nadert of waarbij de automobilist zelf afslaat en daarbij het fietspad van een fietser moet kruisen (Schoon, 2003; van Kampen & Schoon, 2002; zie ook sectie 2.4). In deze situaties is de fietser tijdens duisternis moeilijk waarneembaar voor de automobilist omdat (1) fietslampen doorgaans een beperkte zijwaartse uitstraling hebben, (2) het te beschouwen blikveld nabij een kruising groter wordt (een fietser kan zowel van rechts als van links komen), (3) de fietser zich buiten de bundel van de koplampen bevindt. De situatie is voor een rechtsafslaanende automobilist vermoedelijk nog het meest problematisch omdat de fietser zich dan op het kritische moment zelfs schuin achter de auto bevindt, zodat hij aan het zicht van de automobilist kan worden onttrokken door wasem of regendruppels op de zijramen en de zijspiegels.



Figuur 8 De vier gebruikte verkeersscenario's. De witte en rode rondjes representeren respectievelijk de voor en achterlichten van een fiets. De grijze rechthoek geeft de auto weer, met daarin de automobilist (weergegeven als een witte stip).

Omdat omgevingsverlichting een grote invloed heeft op opvallendheid, werden de testen uitgevoerd in twee omgevingen met een duidelijk verschillende verlichtingskarakteristiek (zie sectie 4.5). De eerste omgeving was een representatieve stedelijke omgeving, met een straatverlichting zoals die gebruikelijk is binnen de bebouwde kom. De tweede omgeving was een representatieve landelijke omgeving, waarin geen of beperkte straatverlichting aanwezig was, zoals vaak het geval is op wegen buiten bebouwde kom.

Opvallendheidsmetingen in een dynamisch scenario zijn praktisch niet eenvoudig uitvoerbaar. Vanwege de vele vrijheidsgraden zijn er in praktijk namelijk veel herhaalde metingen en veel verschillende waarnemers nodig om een significant resultaat te verkrijgen. Vanwege de vele variabelen (9 verschillende fietslampen bij 4 verschillende verkeerssituaties en twee typen omgevingsverlichting) werd er daarom voor gekozen de opvallendheid te meten in statische situaties, en geen gebruik te maken van rijdende fietsers en rijdende waarnemers. Voor het bepalen van de opvallendheid is gekozen voor het uitvoeren van de metingen bij statische situaties die overeenkomen met momentopnamen van situaties die zich voordoen tijdens naderingstrajecten.

Over het algemeen zal een fietser tijdens een nadering steeds beter zichtbaar worden voor een automobilist. In dat geval kan als kritieke situatie de configuratie worden gekozen zoals die was op het laatste tijdstip waarop de automobilist de fietser nog had moeten zien om een botsing te kunnen voorkomen. Op grond van de benodigde remweg voor een auto en de reactietijd van de automobilist kan voor elke verkeerssituatie het kritieke tijdstip met de daarbij behorende posities van de automobilist (waarnemer) en fietser worden berekend. Ter vereenvoudiging gaan we uit van een maximaal vertragende automobilist en een fietser die met constante snelheid rijdt, en worden beiden als puntbronnen beschouwd. Voor de minimale remweg is uitgegaan van een vertraging van  $a=3 \text{ m/s}^2$  (deze waarde wordt doorgaans door TNO gehanteerd voor verkeerssituaties). Voor de minimale reactietijd (RT) van de automobilist werd 1 s aangenomen.

#### 4.7 Nadering van voren of van achteren

Bij nadering van een fietser van voren of van achteren zal een automobilist op tijd moeten afremmen om de fietser met een aanvaardbare snelheid te kunnen passeren. De minimaal benodigde remweg is het grootst buiten de bebouwde kom. Op wegen waar fietsers en automobilisten de weg delen geldt tegenwoordig een snelheidslimiet van 60 km/uur (de waarnemersnelheid is dus  $V_w = 16,7 \text{ m/s}$ ). Over het algemeen zijn op dit soort wegen vaak snelheidsbeperkende hindernissen aangelegd, zodat aangenomen mag worden dat de automobilist niet harder dan 60 km/uur rijdt.

Uitgaande van een benodigde snelheidsafname van de waarnemer  $\Delta V_w$  is de benodigde remtijd inclusief de reactietijd gelijk aan:

$$T_w = \frac{\Delta V_w}{a} + RT \quad (2)$$

De door de waarnemer afgelegde afstand  $X_w$  tijdens deze reactietijd en remtijd volgt met gebruik van de klassieke Newton wetten voor verplaatsing bij vertraging  $a$  en beginsnelheid  $V_w$  uit:

$$X_w = V_w * T_w - \frac{\Delta V_w^2}{2a} \quad (3)$$

De door de fietser nog af te leggen weg  $X_f$  gedurende tijd  $T_w$  is dan:

$$X_f = T_w * V_f \quad (4)$$



Voor de nadering van een tegemoetkomende fietser is er van uitgegaan dat de automobilist niet hoeft af te remmen tot stilstand, maar tot een aanvaardbare snelheid. Gaan we uit van een passeersnelheid die even groot is als die van een fietser die met een redelijk tempo van 20 km/u nadert ( $V_f=5,6$  m/s), dan moet de automobilist zijn snelheid dus met 40 km/uur ( $\Delta V=11,1$  m/s) minderen. De kritische afstand  $d$  tussen fietser en automobilist is bij een tegemoetkomende fietser gelijk aan de som van de remweg  $X_w$  en de in de tussentijd door de fietser afgelegde afstand  $X_f$ :

$$d = X_w + X_f \quad (5)$$

Bij nadering van een fietser van achteren is uitgegaan van een langzame fietser die met 10 km/u (ofwel  $V_f=2,8$  m/s) voor de automobilist uit rijdt. Hierbij moet de snelheid van de automobilist dus met 50 km/uur ( $\Delta V=13,9$  m/s) afnemen. Voor een fietser die van achteren genaderd wordt is de kritische afstand  $d$  gelijk aan de remweg minus de daarbij door de fietser afgelegde weg:

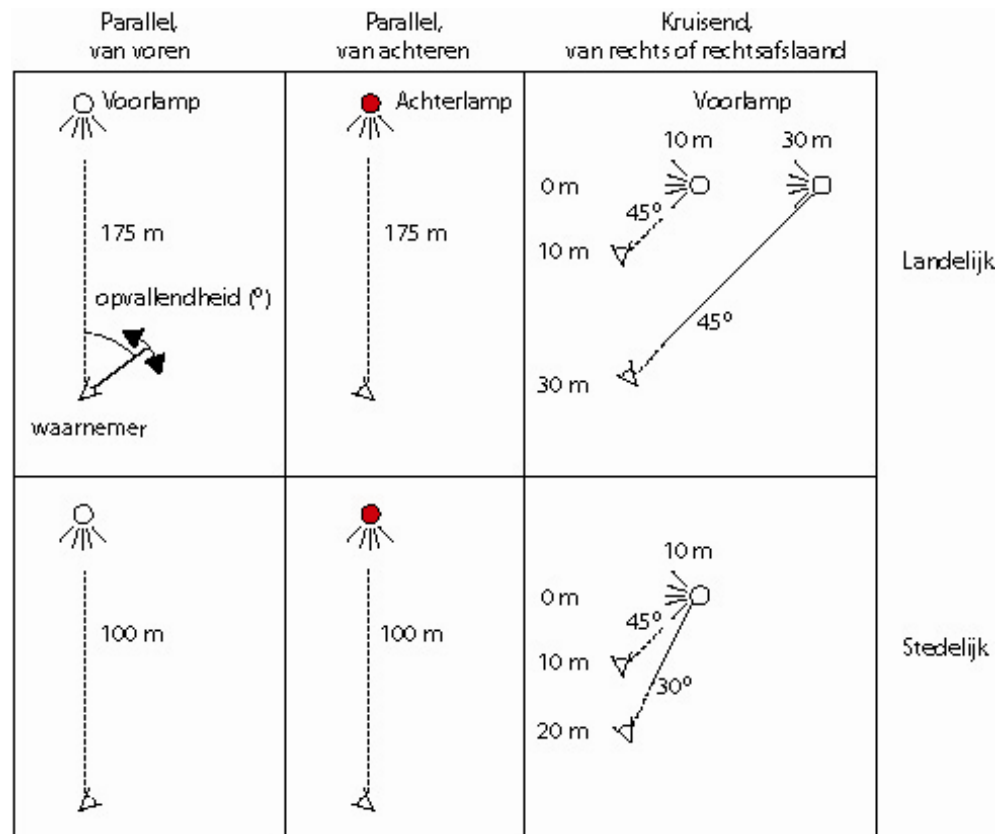
$$d = X_w - X_f \quad (6)$$

De resulterende kritische afstanden zijn weergegeven in tabel 3. Bij deze grote afstanden verschilt de hoek waaronder de fietser wordt gezien weinig van nul en zal de waarnemer de voorlamp of achterlamp doorgaans recht van voren of van achteren zien.

Tabel 3 Kritische afstand  $d$  en de bijbehorende excentriciteit  $\varphi$  van een fietser zoals berekend voor naderend en kruisend verkeer. De tabel vermeldt respectievelijk de aangenomen snelheden van de fietser ( $V_f$ ) en de automobilist ( $V_w$ ), de benodigde snelheidsafname van de automobilist ( $\Delta V$ ), de benodigde remtijd inclusief de reactietijd ( $T_w$ ), de bijbehorende remweg van de auto ( $X_w$ ), de door de fietser tijdens die manoeuvre afgelegde afstand ( $X_f$ ), de kritische afstand  $d$ , en de daarbij behorende hoek  $\varphi$  waaronder de automobilist de fiets waarneemt. Bij nadering van de fietser van voren of achteren representeert  $d$  de afstand tot de fietser, bij de fietser van rechts representeert  $d$  de afstand tot het punt waar fietser en automobilist elkaar kruisen, en bij de afslaan automobilist representeert  $d$  de afstand tussen de automobilist en het fietspad. Bij alle berekeningen werd een reactietijd van 1 s en een gemiddelde remvertraging van  $3 \text{ m/s}^2$  aangenomen.

Verkeerssituatie	$V_f$ (m/s)	$V_w$ (m/s)	$\Delta V$ (m/s)	$T_w$ (s)	$X_w$ (m)	$X_f$ (m)	$d$ (m)	$\varphi$ (°)
Fietser van achteren	2,8	16,7	13,9	4,6	61,7	15,6	46,0	0
Fietser van voren	5,6	16,7	11,1	4,7	57,8	26,1	84,0	0
Fietser van rechts	5,6	11,1	11,1	4,7	31,6	26,1	31,7	39,5
Afslaan automobilist	5,6	8,3	8,3	3,8	19,9	20,9	5	140,0

De gekozen meetscenario's zijn schematisch weergegeven in figuur 9. Uit pilotmetingen bleek dat de opvallendheid (de perifere grenshoek) van enkele geselecteerde fietslampjes (met name in landelijk gebied) te groot was om betrouwbaar te kunnen meten (de lampjes waren waarneembaar zodra ze in het blikveld van de waarnemers kwamen, en de meetwaarden kwamen dus in een verzadigingsgebied). Er werd daarom besloten de metingen op grotere afstanden uit te voeren om zodoende ook tussen de meer opvallende lampjes nog een betrouwbaar verschil te kunnen meten.



Figuur 9 Meetscenario's.

#### 4.8 Kruisend verkeer

Bij kruisend verkeer is de situatie wezenlijk complexer. Hierbij neemt niet alleen de onderlinge afstand tussen de automobilist en de fietser af in de tijd, maar verandert ook voortdurend de excentriciteit en de oriëntatie van de fietser ten opzichte van de automobilist. Zo zal in het geval van een auto die een kruispunt nadert met hoge snelheid, de excentriciteit van een kruisende fietser in de tijd toenemen. Hierdoor bevindt de fietser steeds verder in de periferie blikveld van de waarnemer wat de waarneming lastiger maakt, terwijl de lichtopbrengst juist toeneemt omdat de automobilist meer in de bundel van fietslamp kijkt. En zo is er in het scenario van een rechtsafslaande automobilist ook al een periode voor het daadwerkelijke inhalen van de rechtdoorgaande fietser waarin de automobilist de fietser van achter had kunnen waarnemen. Echter, in de praktijk moet er ook van uitgegaan worden dat er bebouwing of bos langs de weg aanwezig is, die het zicht kunnen belemmeren. Daarom is ook hier gekozen voor de laatste mogelijkheid tot afremmen.

Voor een fietser die van rechts of links de kruising nadert gaan we uit van een situatie in de bebouwde kom omdat de fietser alleen in dat geval voorrang heeft op de automobilist. Aangenomen kan worden dat hierbij automobilist 10 km/uur harder rijdt dan de toegestane snelheid van 30 km/u en dus 40 km/u (8,3 m/s) in snelheid moet minderen. De tangent van de hoek waaronder de fietser zich dan bevindt is dan gelijk aan:

$$\phi = \arctan(X_f / X_w) \quad (7)$$

De situatie van een rechtsafslaanende automobilist die een fietspad kruist en voorrang moet verlenen komt in de regel alleen nog voor bij ongeregelde kruisingen waarbij de automobilist gedwongen wordt een scherpe bocht te maken. Daarbij kan aangenomen worden dat de snelheid waarmee een automobilist de bocht neemt rond 30 km/uur zal liggen (8,3 m/s) en de automobilist aanvankelijk ongeveer 5 m links ten opzichte van de fietser rijdt. Het nog af te leggen traject na de haakse bocht is dan 5 m. Uitgaande van een totale remweg van 19,9 m voor de automobilist en de door de fietser afgelegde afstand van 20,9 m, zal de fietser zich op het kritische moment 6 m achter en 5 m rechts van de automobilist bevinden, onder een hoek van 150 graden ten opzichte van de rijrichting van de automobilist. De oriëntatie van de fietslamp is dan 40 graden weggedraaid van de automobilist.

Voor zowel de fietser van rechts als voor de afslaanende automobilist is de fietser op het kritische moment dus ongeveer 45 graden weggedraaid van de automobilist. Alleen de afstand tot de fietser is verschillend in beide scenario's. Daarom zijn er opvallendheidsmetingen voor een 45 graden gedraaide lamp uitgevoerd bij twee korte afstanden (10 m en 30 m) tot de kruising.

In stedelijk gebied met bebouwing is het zicht bij een afstand van 30 m tot een kruising doorgaans beperkter dan 45 graden. De fietser kan dus pas in een later stadium gezien worden. Daarom is voor stedelijk gebied deze meting vervangen door een situatie met de fietser onder een kleinere hoek van 30 graden, 10 m voor de kruising, en de automobilist op 20 m voor de kruising.

In alle bovengenoemde kritische situaties is slechts een van beide fietslampen (voor- of achterlicht) zichtbaar. De metingen zijn daarom alleen uitgevoerd met enkel de voorlamp of de achterlamp aan, maar niet voor combinaties van achterlamp en voorlamp.



## 5 Meetresultaten

### 5.1 Omgevingsverlichting

Tijdens de metingen werd de verlichtingssterkte van de omgeving gemeten, zowel op het horizontale als op het verticale vlak. De meting van de verlichtingssterkte op het horizontale vlak gebeurde door het detectoroppervlak van een luxmeter, die zich bevond op de locatie van de waarnemers en op een gemiddelde ooghoogte, evenwijdig aan het wegdek en naar boven gericht te houden. De meting van de verlichtingssterkte op het verticale vlak gebeurde op dezelfde locatie door het detectoroppervlak van de luxmeter te richten op de plek waar de fietslampjes zich bevonden. De resultaten staan vermeld in tabel 3. De achtergrondluminantie werd in sommige gevallen berekend uit digitale foto's (zie bijlage B: Luminantieopnamen).

Tabel 1 Gemeten horizontale en verticale verlichtingssterkte op de verschillende locaties.

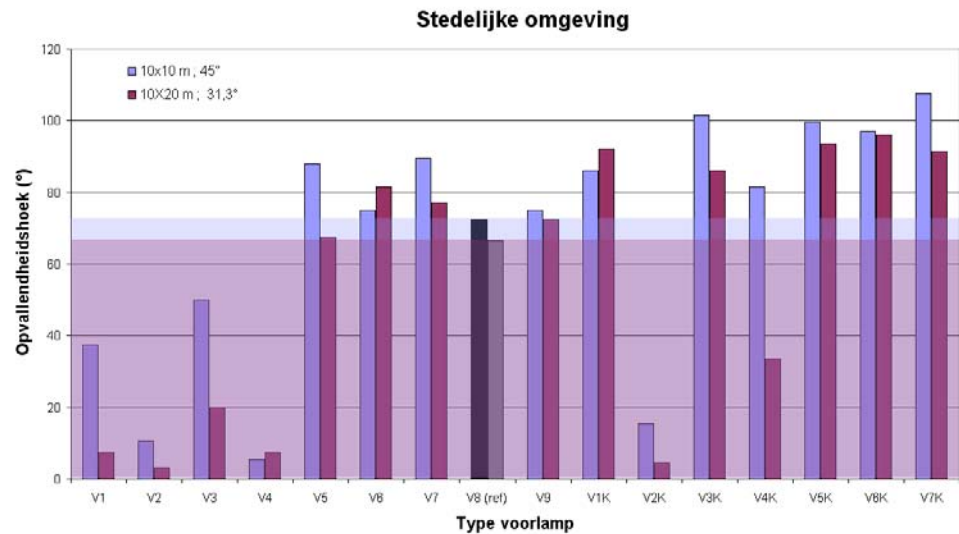
Locatie	Verlichtingssterkte (lx)		Achtergrondluminantie (cd/m <sup>2</sup> )
	Vertikaal	Horizontaal	
A	0,1	0,2	<0,01
B	0,1	0,1	<0,01
C 50 m	6,5	2	0,71
C 100 m	1,7	28,3	0,63
D	3	14,5	0,24

### 5.2 Scenario 'kruisende fietser' in stedelijke omgeving

Op de kruising van de Kampweg met de Kamerlingh Onneslaan te Soesterberg (locatie D in figuur 4, zie ook figuur 7) werd de opvallendheid van de geselecteerde voorlampen gemeten in twee situaties die overeenkomen met een scenario waarin een kruisende fietser een automobilist van rechts nadert:

- 1 De eerste meting simuleerde een situatie waarin zowel de fietser als ook de waarnemer (automobilist) zich op 10 meter van de kruising bevonden.
- 2 Bij de tweede meting was de fietser 10 meter van de kruising en de waarnemer 20 meter van de kruising.

Bij de eerste meting was de hoek tussen de fietslampen en de waarnemer 45 graden, en bij de tweede meting was deze hoek 31,3 graden. In figuur 10 staan de resultaten van deze metingen. De waarden in deze figuur representeren het gemiddelde van 2 waarnemers die elk 2 herhaalde waarnemingen deden. De standaard fout in de waarnemingen bedraagt gemiddeld minder dan 10%. Dit geldt ook voor alle volgende figuren. De resultaten van de opvallendheidsmetingen worden in figuur 10 vergeleken met de opvallendheid van de conventionele koplamp (V8). De bovengrens van de lichtblauwe en lichtpaarse vlakken in deze figuur representeren de referentie opvallendheids niveaus van de koplamp zoals die respectievelijk bij de eerste en de tweede meting werden bepaald. Blauwe (paarse) balken die uitsteken boven de lichtblauwe (lichtpaarse) vlakken representeren de gemeten opvallendheid van voorlampen die opvallender zijn dan de referentie koplamp in de betreffende scenario's. Balken die onder de grens van deze vlakken liggen hebben corresponderen met voorlampen die een lagere opvallendheid hebben dan de referentie koplamp.



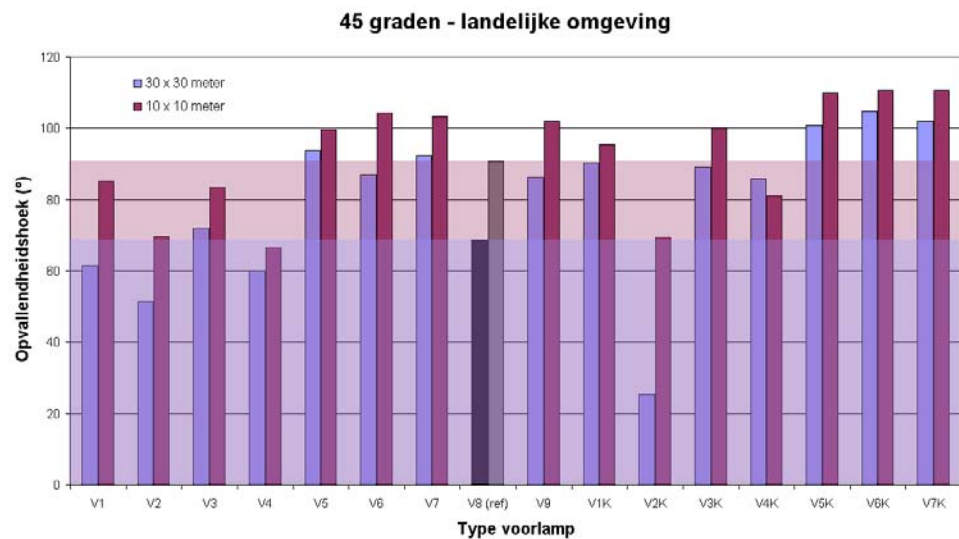
Figuur 10 De opvallendheid van de voorlamp (V) van een fietser die de waarnemer kruist in de bebouwde kom, wanneer de lamp continu brandt (V1-V9), en wanneer de lamp knippert (V1K-V7K). De opvallendheden zijn gemeten voor een situatie waarin de fietser zich op 10 m afstand van de kruising bevindt, en de waarnemer respectievelijk 10 m en 20m van de kruising verwijderd was (en deze de fietser dus waarnam onder een hoek van respectievelijk 45 en 31,3 graden). De lampen V8 en V9 hebben geen knipperfunctie.

Uit figuur 10 blijkt het volgende:

- *Continu brandend* zijn V1, V2, V3 en V4, waargenomen onder een hoek van 31,3 en 45 graden, allen minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).
- *Knipperend* zijn V2K en V4K waargenomen onder een hoek van 31,3 graden, allebei minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).

### 5.3 Scenario 'kruisende fietser' in landelijke omgeving

Op locatie B in figuur 4 (zie ook figuur 5) werd de opvallendheid van de geselecteerde voorlampen gemeten in een situatie die overeenkwam met een scenario waarin een kruisende fietser een automobilist van rechts nadert in een landelijke omgeving. De opvallendheid werd gemeten voor een waarneming onder een hoek van 45 graden en op 2 verschillende afstanden. Bij de eerste meting bevonden de fietslampen en de waarnemer zich beiden op 10 meter afstand van de kruising. Bij de tweede meting waren de fietslampen en de waarnemer 30 meter van de kruising verwijderd.



Figuur 11 De opvallendheid van de voorlamp van een fietser die de waarnemer kruist en die wordt waargenomen onder een hoek van 45 graden, op een afstand van respectievelijk 10 m en 30 m van de kruising, in een landelijke omgeving, wanneer de lamp continu brand (V1-V9), en wanneer de lamp knippert (V1K-V7K).

In figuur 11 worden de resultaten van de bovengenoemde metingen weer vergeleken met die van de conventionele koplamp.

Wanneer de fietslampen en de waarnemer zich beiden op 30 meter afstand van de kruising bevonden, bleek het volgende:

- *Continu brandend* zijn V1, V2 en V4 allen minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).
- *Knipperend* is V2K minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).

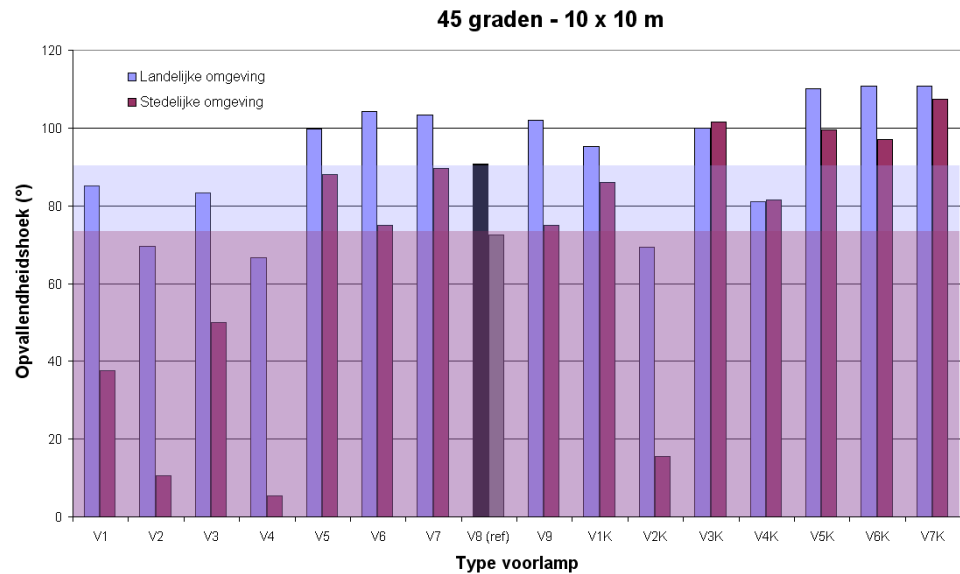
Wanneer de fietslampen en de waarnemer zich beiden op 10 meter afstand van de kruising bevonden, bleek het volgende:

- *Continu brandend* zijn V1, V2, V3 en V4 allen minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).
- *Knipperend* zijn V2K en V4K minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).

### 5.4 Scenario 'kruisende fietser' op 45 graden in landelijke en stedelijke omgeving

Zoals reeds vermeld in de secties 5.2 en 5.3 werd zowel de stedelijke als in de landelijke omgeving (respectievelijk de locaties D en B in figuur 4) de opvallendheid van de geselecteerde voorlampen gemeten in een scenario dat overeenkomt met de situatie waarin een fietser een kruising nadert van rechts. De fietslampen en de

waarnemer bevonden zich beide op 10 meter voor de kruising. De hoek waaronder de waarnemer de fietser zag bedroeg dus steeds 45 graden.



Figuur 12 Als figuur 10 en figuur 11, voor de gemeten opvallendheid van de geselecteerde voorlampen bij waarneming onder een hoek van 45 graden in zowel stedelijke als landelijke omgeving.

In figuur 12 worden de resultaten van de metingen in stedelijke en landelijke omgeving wederom vergeleken met de gemeten opvallendheid van de conventionele Koplamp (V8) in dezelfde situaties.

Hieruit blijkt voor een stedelijke omgeving het volgende:

- *Continu brandend* zijn V1, V2, V3 en V4 allen minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).
- *Knipperend* is V2K minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).

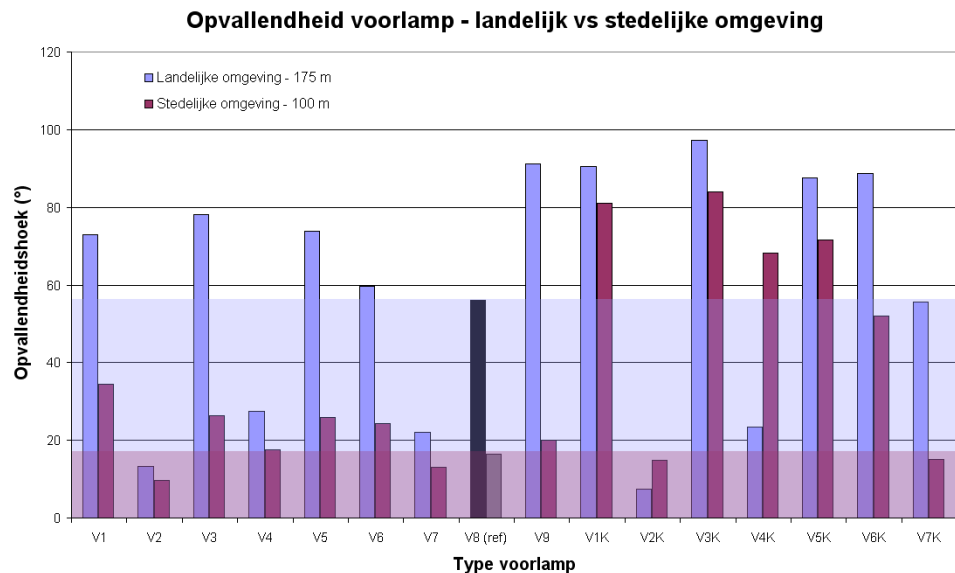
En voor een landelijke omgeving:

- *Continu brandend* zijn V1, V2, V3 en V4 allen minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).
- *Knipperend* zijn V2K en V4K minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).



## 5.5 Scenario 'naderen van een fietser in tegengestelde rijrichting'

De opvallendheid van de geselecteerde voorlampen werd gemeten in een scenario dat overeenkomt met een situatie waarin een automobilist een fietser vanaf grote afstand in tegengestelde rijrichting nadert. In de landelijke omgeving werden de metingen op een grotere afstand uitgevoerd dan in de stedelijke omgeving, omdat een deel van de bestudeerde fietslampen in de landelijke omgeving te opvallend was om nauwkeurig te kunnen meten.



Figuur 13 De opvallendheid van de geselecteerde voorlampen in het scenario 'nadering fietser in tegengestelde richting', in stedelijke en landelijke omgeving.

In figuur 13 worden de resultaten van de metingen in stedelijke en landelijke omgeving wederom vergeleken met de gemeten opvallendheid van de conventionele koplamp (V8) in dezelfde situaties.

Hieruit blijkt voor een stedelijke omgeving het volgende:

- Zowel *continu brandend* als *knipperend* zijn V2 en V7 beide minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).

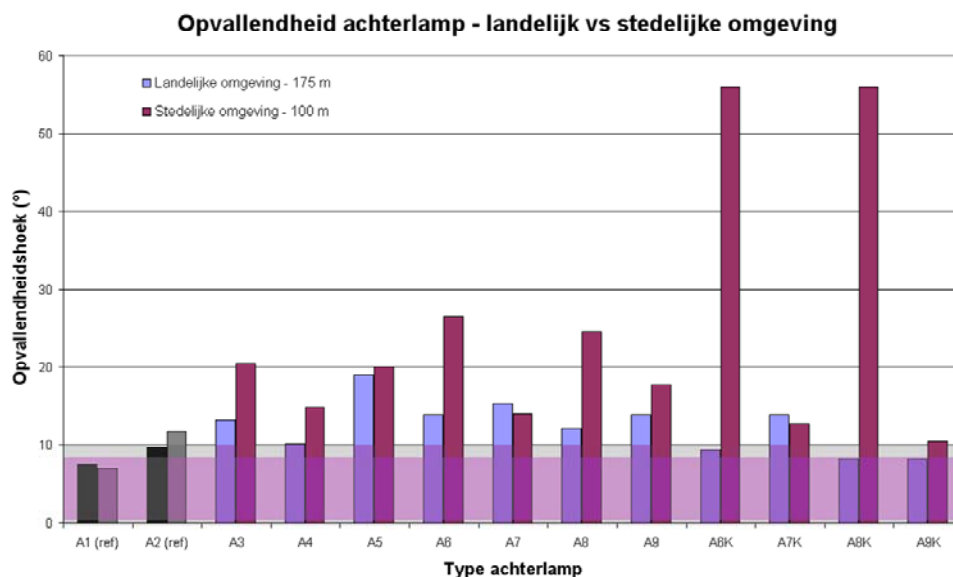
En voor een landelijke omgeving:

- *Continu brandend* zijn V2, V4 en V7 allen minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).
- *Knipperend* zijn V2K en V4K minder opvallend dan de referentie koplamp (V8).

Hierbij moet worden opgemerkt dat hoewel V7 een sterke smalle (een diameter van ongeveer 20 graden) lichtbundel heeft, deze op grotere afstand toch niet zichtbaar was omdat de bundel 4 m voor de lamp op de grond was gericht. In praktijk zal dit ook het geval zijn omdat anders medeweggebruikers door de lamp verblind kunnen worden.

## 5.6 Scenario 'naderen van een fietser in dezelfde rijrichting'

De opvallendheid van de geselecteerde achterlampen werd gemeten in een scenario dat overeenkomt met een situatie waarin een automobilist een fietser vanaf grote afstand in dezelfde rijrichting nadert. De opvallendheid van achterlampen werd op dezelfde manier gemeten als die van de voorlampen.



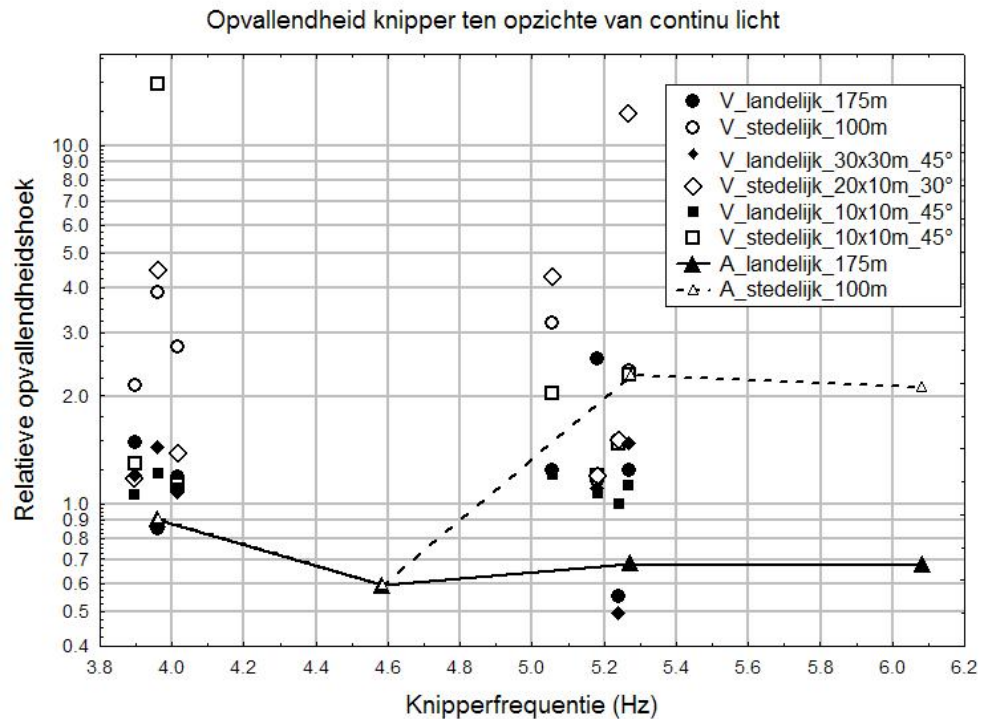
Figuur 14 De opvallendheid van de geselecteerde achterlampen in het scenario ‘nadering fietser in dezelfde rijrichting’, in stedelijke en landelijke omgeving.

In resultaten worden vergeleken met de twee conventionele achterlampen A1 en A2. Omdat de beide referentie lampen qua opvallendheid enigszins verschillen nemen we het gemiddelde van hun opvallendheid als referentiewaarde.

Het blijkt dat allen geselecteerde achterlampen qua opvallendheid vergelijkbaar of beter zijn dan de referentie achterlichten.

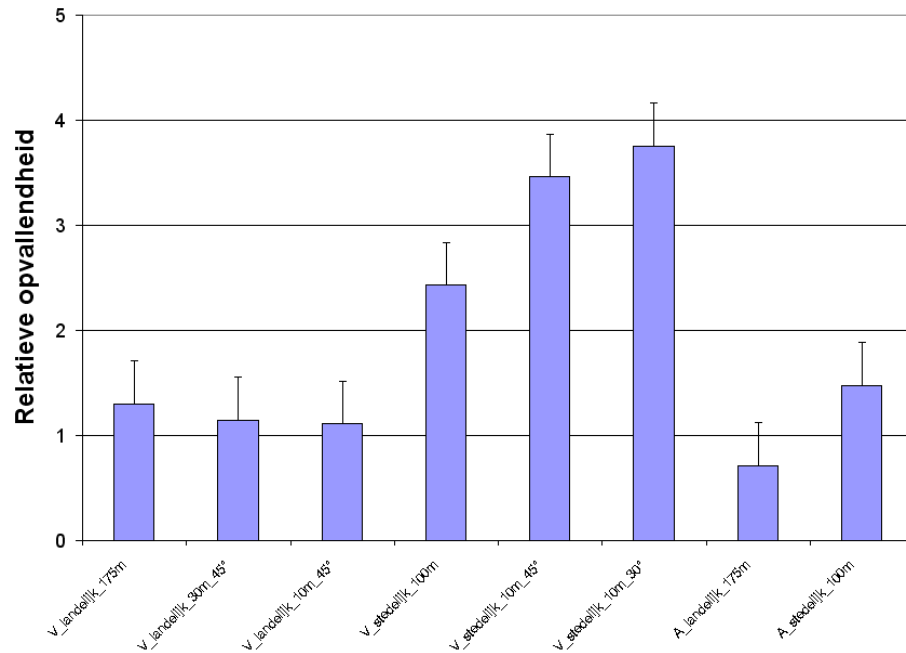
## 5.7 Effect van knipperen

Om de bijdrage van het knipperen van een fietslamp aan diens opvallendheid te kunnen bepalen is in figuur 15 de verhouding van de opvallendheid bij knipperen (uitgedrukt in de perifere waarnemingshoek) ten opzichte van de opvallendheid bij continu werking uitgezet als functie van knipperfrequentie. De knipperfrequentie voor elke lamp is in het laboratorium nagemeten met een flitsmeter (type LMT SF 100) aangesloten op een oscilloscoop. Uit figuur 15 blijkt dat er geen duidelijk verband bestaat tussen de knipperfrequentie en de bijdrage van knipper aan opvallendheid van een fietslamp.



Figuur 15 De opvallendheid van knipperende fietslampjes ten opzichte van continu brandende lampjes.

Figuur 16 laat zien hoe de opvallendheid van de lampjes verandert wanneer ze knipperen in plaats van continu branden, voor verschillende scenario's en omgevingen, en gemiddeld over alle fietslichten die een knipperfunctie hadden. Duidelijk is dat de gemeten opvallendheid (uitgedrukt in de perifere grenshoek) door knipper meestal toeneemt. Dit geldt zeker voor de meeste voorlampen. Gemiddeld over de 7 voorlampen die een knipperfunctie hebben neemt de opvallendheid door knippering toe met een factor tussen 1 en 4, en vooral gemeten in stedelijk gebied en lampen die onder een hoek zichtbaar zijn (en waargenomen worden). De opvallendheid neemt met name toe bij lampen die zonder knipperen weinig opvallendheid zijn (zie figuur 10 en figuur 12). Knipperen is niet noodzakelijk voor een goede opvallendheid. Voor achterlichten draagt knipperlicht weinig bij aan hun opvallendheid. In een landelijke omgeving leidt het knipperen van achterlichtjes zelfs tot een achteruitgang in hun opvallendheid.



Figuur 16 Ratio van opvallendheidshoek van knipperlicht ten opzichte van constant licht bij verschillende scenario's, gemiddeld over alle fietslichten (7 voorlampen, 4 achterlampen). De foutenbalk representeert de fout in het gemiddelde.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat knipperende fietsverlichting niet noodzakelijk is voor een goede opvallendheid. Wel kan in stedelijk gebied het knipperend gebruik van voorlampen bij een aantal voorlampen de opvallendheid vergroten, met name voor kruisend verkeer waarbij de fietser van rechts komt of waarbij de automobilist rechts afslaat. Voor achterlichten, zoals gezien van achteren door de automobilist, draagt knipper nauwelijks bij en leidt in landelijk gebied zelfs tot een daling van de opvallendheid.

## 5.8 Effect van schuine stand van het achterlicht

Bij het uitvoeren van alle in deze studie gebruikte testscenario's voor fietsverlichting werd steeds uitgegaan van fietsverlichting die correct is gemonteerd, dat wil zeggen een schuin naar voren en naar beneden gerichte stand van de voorlampen die bedoeld zijn om het wegdek te verlichten, en recht naar voren of naar achteren gerichte lampen bij de overige typen verlichting. Omdat de gemeten lichtintensiteit van een lamp gezien vanuit een zijwaartse richting snel afneemt, is het zeer waarschijnlijk dat de opvallendheid van lampen die scheef gedragen worden sterk afneemt ten opzichte van hun opvallendheid in een rechte positie.

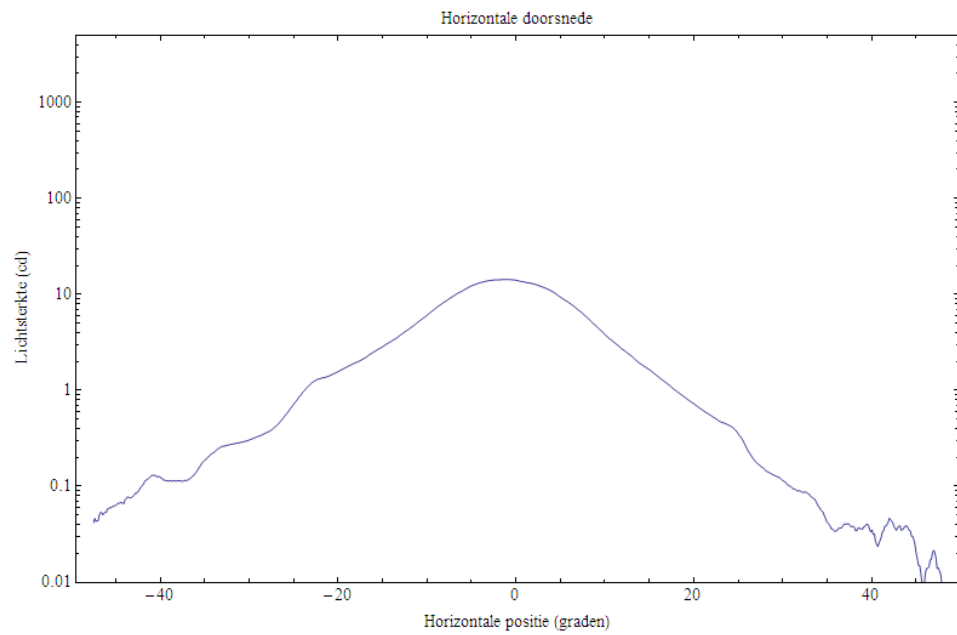
Bij een schuine oriëntatie zijn moderne fietslampen waarschijnlijk minder opvallend dan een conventionele gloeilamp, omdat de laatste doorgaans een breder ustralingsprofiel heeft. We hebben de fietslampen echter niet getest onder een schuine hoek omdat:

- de scenario's hiertoe geen aanleiding gaven;
- er geen statistiek beschikbaar is over de typische hoekverdraaiing van een lampje dat wordt gedragen op een rugtas of heuptasriem;
- de afstralingskarakteristiek van moderne achterlichten dusdanig complex is (zie bijlage C: Bundelmeting) dat er bij diverse lamporiëntaties gemeten zou moeten worden om tot uitspraken te kunnen komen.

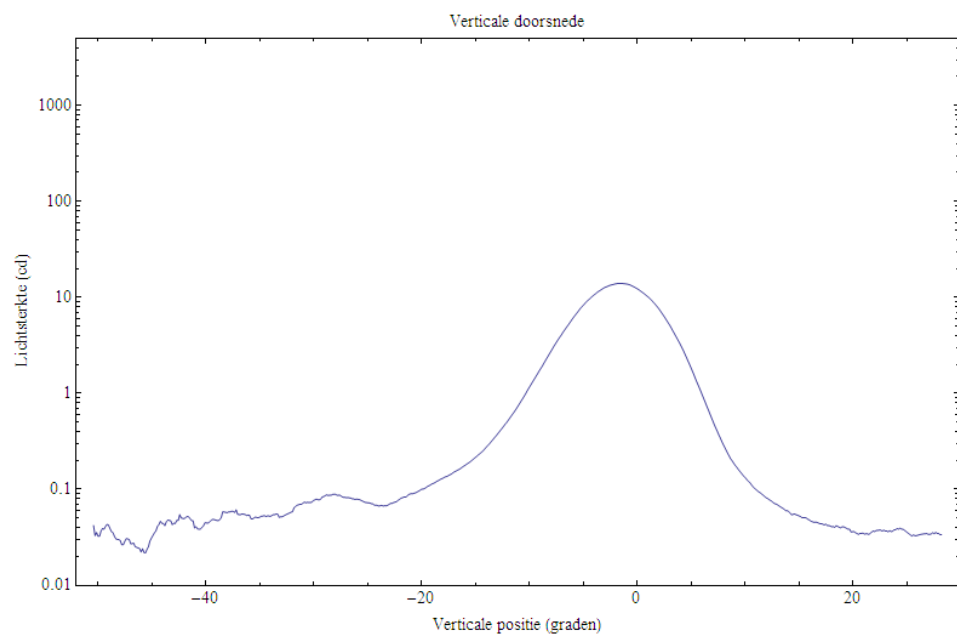
Wel is er ter illustratie één fietslamp getest, namelijk lampje V3.

Een ondeugdelijke bevestiging van een fietslamp kan leiden tot een schuine stand, waardoor deze niet recht naar voren schijnt. Door bolling van kleding of tas, zwaartekracht, lichaamshouding en windkracht kan het lampje flink van oriëntatie veranderen. Daarbij is het voor de fietser niet goed mogelijk om te controleren of een lampje goed is gericht. Bij een achterlampje op een lege rugzak en een voorovergebogen houding kan de hoekverdraaiing in verticale richting oplopen tot 40 graden. Wanneer het lampje asymmetrisch links of rechts op het lichaam of op een rugzak wordt gedragen, dan kan door bolling gemakkelijk een hoekverdraaiing zijwaarts van naar schatting 30 graden ontstaan. Indien het voorlampje direct op de bekleding gedragen wordt (bijvoorbeeld op een rits, kraag of jaszak), dan moet er eveneens rekening mee worden gehouden dat er slechts beperkte mogelijkheden zijn om het lampje te oriënteren, waardoor er grote hoeken kunnen ontstaan tussen de bewegingsrichting van de fietser en de richting van de hoofdas van de lichtbundel van het lampje. Bij een voorlampje zal de fietser iets beter zicht hebben op het lampje. In dat geval zal de hoekverdraaiing wellicht beperkt blijven tot de hoek die nog niet als duidelijk scheef wordt ervaren. Bij montage op de fiets kan de fietser de oriëntatie in principe beter controleren. In de praktijk komt echter ook verkeerde montage van fietslampen voor. Zo monteren sommige fietsers een LED-lamp bijvoorbeeld verticaal op een stuurpen in plaats van horizontaal op het stuur. Hierbij speelt waarschijnlijk een gebrek aan kennis over de eigenschappen van de lamp een rol. Het monteren van een LED onder zadelpen moet afgeraden worden wanneer de fietser een jas draagt, omdat hierbij de kans op afdekking te groot is.

Voor het lampje V3 werd de opvallendheid gemeten als functie van kantelhoek. Bij een horizontaal georiënteerde voorlamp van voren gezien neemt de opvallendheid bij een kanteling naar voren vanaf een verticale hoek van 15 graden sterk af. Deze oorzaak van deze sterke afname blijkt duidelijk uit figuur 17b die een verticale dwarsdoorsnede van de geprojecteerde lichtbundel toont: de lichtbundel van dit lampje heeft namelijk een heel smal verticaal profiel.

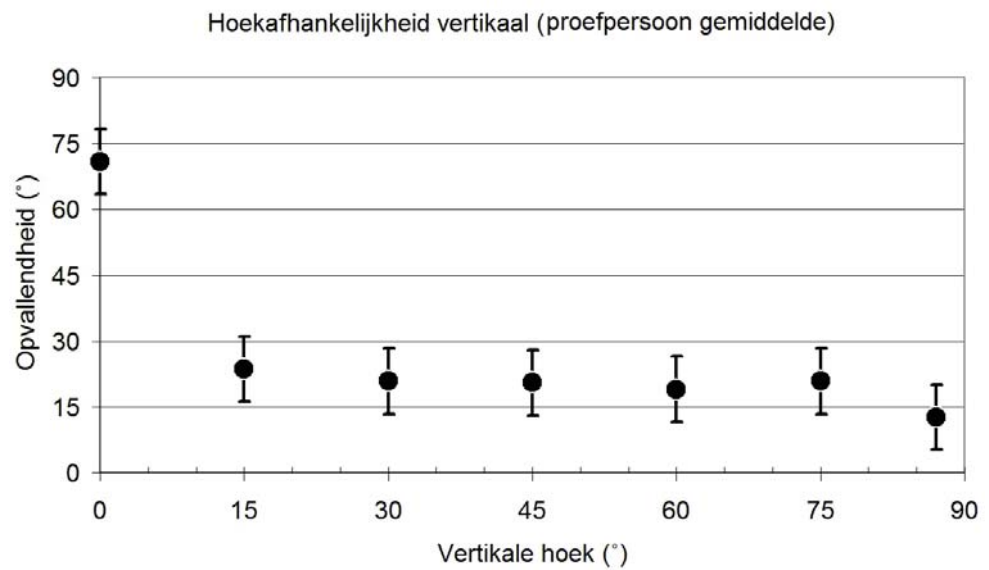


(a)



(b)

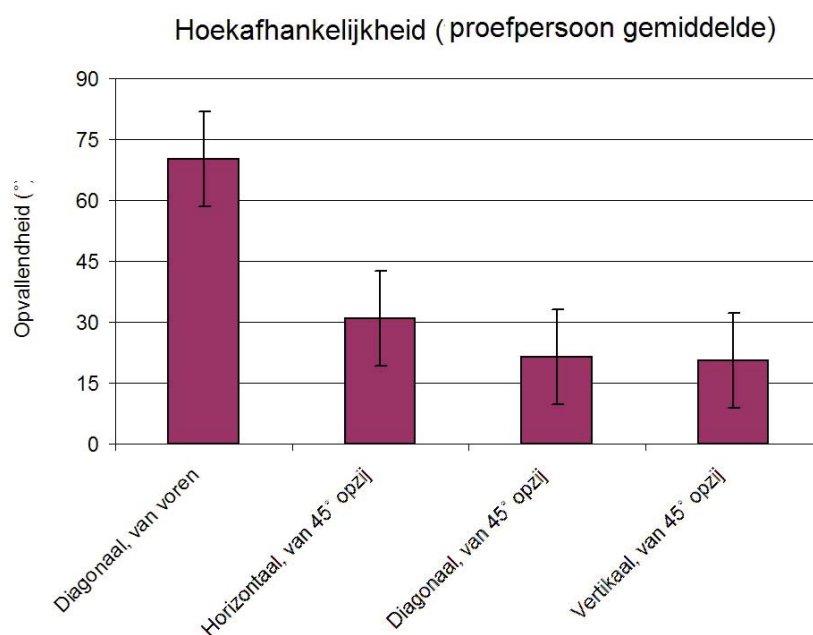
Figuur 17 De horizontale (a) en verticale (b) profielen van de lichtbundel van de lamp V3 die werd gebruikt bij de metingen van de opvallendheid als functie van de kantelhoek.



Figuur 18 Opvallendheid van V3 als functie van verticale hoekafwijking. De foutenbalken geven de fout in het gemiddelde over 6 metingen (3 proefpersonen x 2 metingen).

Conclusie: bij schuin bevestigde lampen wordt bij een afwijking in oriëntatie van 15 graden (een waarde die in praktijk makkelijk voor kan komen) de opvallendheid bij nadering van voren of achteren drastisch kleiner dan de opvallendheid van dezelfde lamp wanneer deze recht vooruit of recht achteruitstralend gemonteerd zou zijn.

Uit enkele tests (zie bijvoorbeeld figuur 18) bleek dat bij sommige lampjes die zijn bedoeld om op het lichaam te bevestigen de opvallendheid sterk afnam wanneer het lampje diagonaal of verticaal bevestigd werd, op een manier die in praktijk vaak voorkomt wanneer een dergelijk lampje aan de schouderriem van een rugzak of aan de riem van een schoudertas wordt bevestigd. Metingen in het laboratorium tonen aan dat de opvallendheid van een verticaal of diagonaal gedragen voorlamp, die wordt waargenomen onder een hoek van 45 graden van opzij, respectievelijk 31% en 34% lager ligt dan de opvallendheid van een horizontaal gedragen lamp (figuur 19).



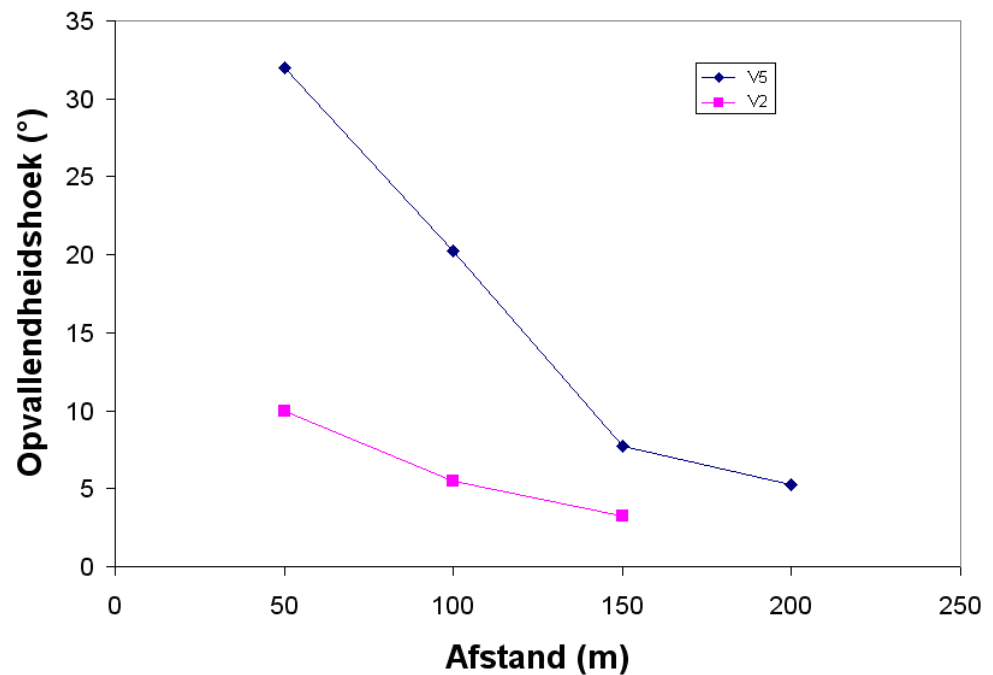
Figuur 19 Opvallendheid van diagonaal of vertikaal gedragen lamp (V3) vergeleken met horizontaal gemonteerde lamp gezien door een waarnemer van opzij. De eerste balk geeft de opvallendheid voor een waarnemer recht van voren. De foutenbalken geven de standaard fout over 6 metingen (3 proefpersonen, 2 metingen per proefpersoon).

De verminderde opvallendheid is te verklaren uit de asymmetrische opbouw van V3. V3 heeft in de hotspot een sterk asymmetrisch profiel, waarbij in verticale richting de intensiteit sneller afneemt dan in horizontale richting. Lampen die op de kleding gedragen worden hebben vaak een asymmetrische opbouw (bijvoorbeeld meerdere LED's op een horizontale rij). Uit analyse van de geprojecteerde luminantieprofielen (zie figuur 28 - figuur 31) blijkt dat de hotspot in de meeste gevallen wel symmetrisch is, op V3 na. Echter, uit de afstralingsprofielen is niet goed te meten of buiten de hotspots wel sprake is van een sterke asymmetrie. In ieder geval kan gesteld worden dat bij lampjes die op het lichaam gedragen worden het afstralingsprofiel symmetrisch moet zijn.

## 5.9 Invloed van waarnemingsafstand

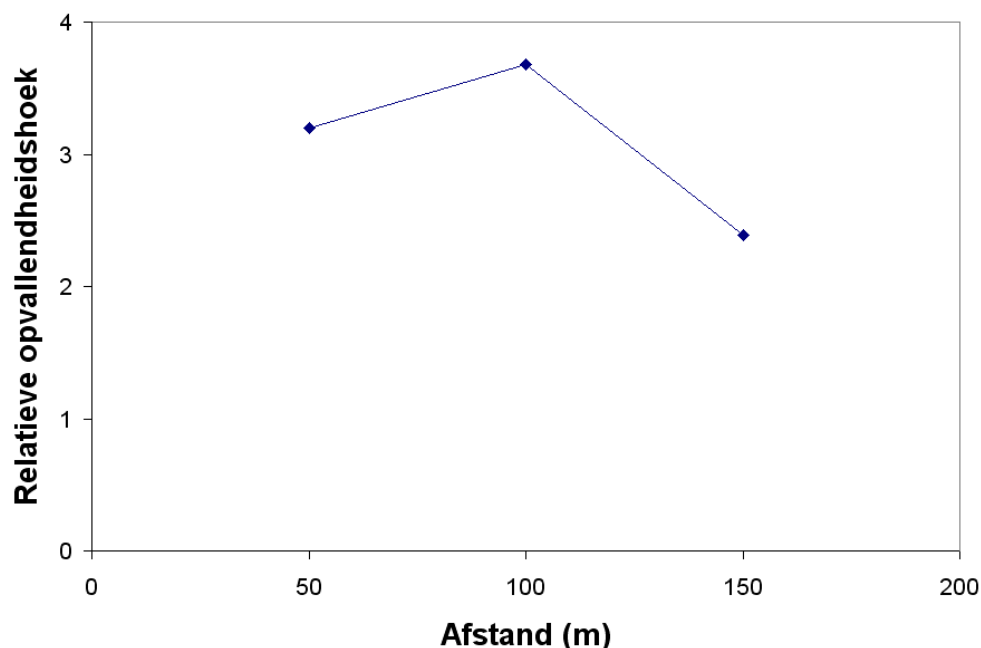
Zoals we reeds eerder opmerkten, werd er vanwege de hoge opvallendheid van sommige fietslampjes bij de scenario's waarin een nadering van voren en van achteren werd gesimuleerd gemeten bij afstanden die groter waren dan de waarden die volgden uit de berekeningen op basis van 'worst-case' remwegafstanden. Het is daarom de vraag of uitspraken over de relatieve opvallendheid tussen twee verschillende typen lampen ook geldig zijn op een andere afstand dan de afstand waarop de meting werd uitgevoerd. Uit figuur 20 blijkt dat de opvallendheid (de perifere grenshoek) voor twee verschillende typen voorlampen (V2 en V5) in gelijke mate afneemt met een toenamen van de waarnemingsafstand. Figuur 21 laat zien dat de verhouding tussen opvallendheidshoek van de beide voorlampjes (de relatieve opvallendheidshoek) binnen 20% constant blijft als functie van waarnemingsafstand.





Figuur 20 Opvallendheidshoek als functie van de waarnemingsafstand tot het lampje, voor V2 en V5.

Naarmate een brandend lampje van dichterbij wordt waargenomen neemt zijn opvallendheid in het algemeen toe. De factoren die daarbij een rol spelen zijn (1) de toename van verlichtingsterkte ten gevolge van het lampje op het oog van de waarnemer, en (2) de afname van de mate waarin omgevingslichten nabij het lampje diens waarneming verstoren (dit komt omdat de ruimtehoek tussen de storende lichtbronnen en de fietslamp groter wordt wanneer beide dichterbij de waarnemer komen, waardoor vervolgens de storende of maskerende werking van de omgevingslichtbronnen afneemt).

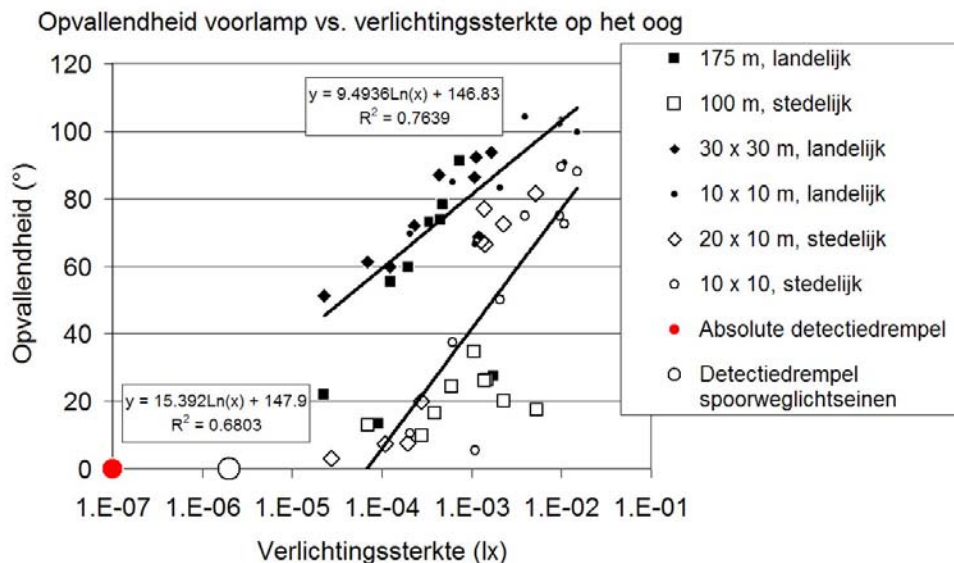


Figuur 21 Relatieve opvallendheid van V5 ten opzichte van V2, als functie van waarnemingsafstand tot het lampje.

### 5.10 Invloed van intensiteit

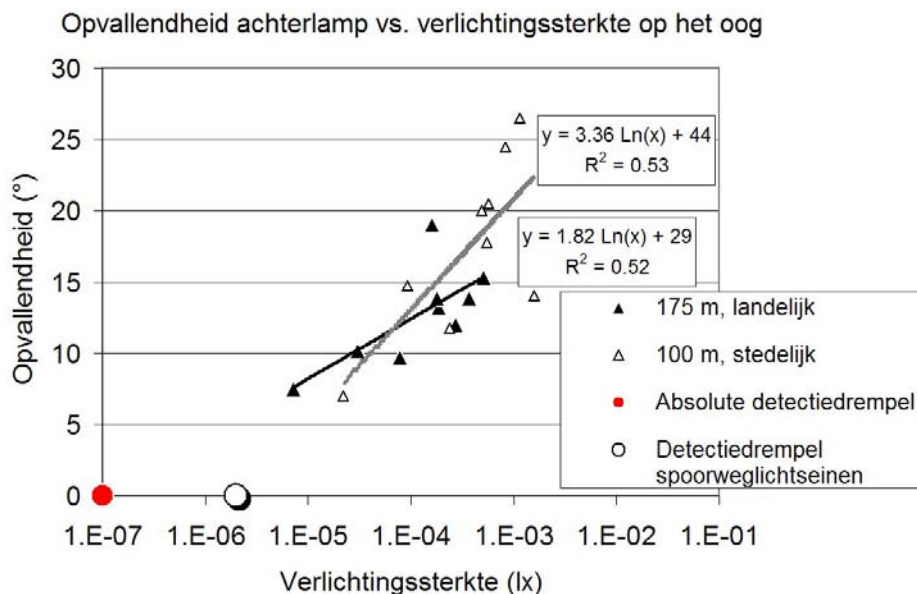
Om meer inzicht te krijgen in de factoren die de opvallendheid van een lampje bepalen, werd voor alle meetdata die verzameld zijn in landelijk en stedelijk gebied, de opvallendheid uitgezet tegen de hoeveelheid licht die op het oog van de waarnemer valt. Om de verlichtingssterkte op het oog te kunnen berekenen werd in het laboratorium voor elk geselecteerd lampje met een luxmeter de lichtsterkte (in cd) gemeten (voor voorlampjes ook onder een schuine hoek van 30 en 45 graden). Voor een puntbron neemt de verlichtingssterkte  $E$  op het oog kwadratisch af met de afstand  $a$  van het oog tot de lichtbron ( $E=I/a^2$ ). Hieruit kan de verlichtingsterkte op het oog (in lux) worden afgeleid voor de afstand waarop de waarnemers stonden tijdens de experimenten.

Figuur 22 laat zien dat er voor elk meetscenario een eenvoudige monotone relatie is tussen de opvallendheid van het lampje en de logaritme van de verlichtingsterkte. Bij voorlampen zijn er grofweg twee puntenlijnen te onderscheiden, namelijk een rechte lijn voor landelijk verlicht gebied en een lijn voor stedelijk verlicht gebied. Ongeacht het type lamp en de invalshoek (dat wil zeggen de verkeerssituatie: kruisende fietser of van voren naderende fietser) liggen de meeste punten op een van deze twee lijnen. Dit betekent dat vrijwel alle variatie te verklaren is door de variatie in verlichtingsterkte en de omgevingsverlichting. Duidelijke afwijkende meetpunten zijn goed te verklaren. Zo zijn de drie afwijkende punten bij 175 m landelijk juist de lampen met afwijkende kleuren (de gele lamp V4, de groene lamp V2) en V7 met zijn zeer smalle lichtbundel. Omdat V7 zeer oriëntatiegevoelig is, kan de lage opvallendheid goed verklaard worden door aan te nemen dat de lamp tijdens de opvallendheidsmetingen iets meer naar beneden was gericht, waardoor er bij een lagere lichtsterkte is gemeten. Dit betekent dat verlichtingssterkte en de omgevingsverlichting dus de voornaamste factoren zijn die de opvallendheid van de fietslampjes bepalen.



Figuur 22 Opvallendheid van voorlampjes als functie van verlichtingssterkte op het oog, uitgesplitst naar de verschillende meetcondities. De logaritmische fits aan de data (landelijk: donkere lijn) en (landelijk: grijze lijn) tonen een logaritmisch verband met verlichtingssterkte. Langs de nul graden opvallendheidsas is de theoretische minimale verlichtingssterkte weergegeven die nodig is om een lichtbron te kunnen (absolute detectiedrempel). Tevens is de minimale verlichtingssterkte weergegeven die vereist wordt voor zichtbaarheid van spoorweglichtseinen bij hogere omgevinglichtniveaus (detectiedrempel spoorweglichtseinen).

Figuur 23 laat zien dat er ook voor achterlichten een monotoon stijgend verband bestaat tussen de opvallendheid en de verlichtingssterkte op het oog.



Figuur 23 Opvallendheid van achterlampjes uitgezet tegen de gemeten verlichtingssterkte op het oog van de waarnemer. Eveneens als voor lampjes tonen achterlampjes een monotoon stijgende functie. Voor uitleg symbolen, zie legenda en figuur 22.

De data lijken ook consistent met de theorie over de relatie tussen opvallendheid en de zichtbaarheid van lichtbronnen. Bij een opvallendhoek van nul graden is de verlichtingssterkte zo laag dat de waarnemer de lichtbron niet langer in zijn perifere zicht kan waarnemen en zijn blik direct op de lichtbron zelf zal moeten richten om deze nog te kunnen zien. Voor dit ene datapunt is de opvallendheidsmeting dus feitelijk een zichtbaarheidsmeting. De bijbehorende verlichtingssterkte is dan een detectiedrempel, dat wil zeggen de minimale verlichtingssterkte die nodig is om een lichtbron te detecteren.

Extrapolatie van de lijn aan de gefitte data bij voorlampen en achterlampen voor landelijk gebied suggereert dat de detectiedrempel in de buurt ligt van de absolute detectiedrempel zonder achtergrondluminantie ( $10^{-7}$  lx verlichtingssterkte, zie de eisen voor de zichtbaarheid in hoofdstuk 6.1). Dit is consistent met het meten in een relatief donkere omgeving.

Voor stedelijk gebied blijkt zowel bij voorlampen als bij achterlampen de geëxtrapolerde detectiedrempel hoger te liggen dan in een landelijke omgeving. Dit is te verklaren uit de combinatie van een hoger achtergrondslichtniveau en de nabijheid van afleidende lichtbronnen (zogenaamde clutter) in een dergelijke omgeving. Bij voorlampen suggereert extrapolatie van de data in stedelijk gebied een detectiedrempel die nog boven de minimale verlichtingssterkte ligt die wordt vereist voor spoorweglichtseinen ( $2 \cdot 10^{-6}$ , zie hoofdstuk 6.1). Voor achterlampen ligt de detectiedrempel ongeveer op de minimaal vereiste verlichtingssterkte voor spoorweglichtseinen. De data suggereren dus dat er strengere eisen aan de verlichtingssterkte van voorlampen van fietsers moet worden gesteld dan het geval is voor wegverkeer en spoorwegverkeer. Bij deze conclusie moet wel als kanttekening worden gesteld dat er geen metingen zijn gedaan bij heel lage lichtintensiteiten en bij zeer kleine opvallendheids hoeken.

De consistente relatie tussen opvallendheid en de verlichtingssterkte op het oog van de waarnemer, maakt het niet alleen mogelijk om voor bepaalde omgevingen een minimaal toelaatbare opvallendheid van fietslampjes te definiëren, maar ook om de daarbij behorende functionele eisen aan hun lichtsterkte te bepalen. Dergelijke eisen kunnen bijvoorbeeld worden afgeleid uit bepaalde relevante kritieke verkeersscenario's in combinatie met aannames over de verlichtingskarakteristiek van de omgeving.

Uit de figuur 22 en figuur 23 blijkt dat de opvallendheid van de voorlichten groter is dan die van de achterlichten. Bij een verlichtingssterkte van bijvoorbeeld 1 mlx is de opvallendheid van de voorlichten in stedelijke en landelijke omgevingen respectievelijk 25 en 90 graden. Bij de achterlichten is de opvallendheid in beide omgevingen ongeveer 20 graden. De detectiedrempel (bij een hoek van 0 graden) blijkt voor beide lampen echter ongeveer gelijk te zijn. Dit effect kan verklaard worden door het verschil in de kleur van de lampjes. In het centrum van het netvlies (fovea) bevinden zich de receptoren die gevoelig zijn voor alle kleuren (kegeltjes). Verder in de periferie neemt de dichtheid van de kegeltjes af en de dichtheid van de staafjes toe. De staafjes zijn niet gevoelig voor rood licht. Daardoor worden rode lampen slechter gezien in het perifere gezichtsveld dan witte lampen, wanneer beide typen lampen dezelfde lichtsterkte hebben en op gelijke afstand staan (en dus een zelfde verlichtingssterkte op het oog veroorzaken). In de fovea worden beide lampen even helder gezien. Het effect komt voornamelijk tot uiting in de landelijke conditie omdat in de stedelijke conditie de opvallendheid van de witte voorlichten afneemt door de clutter van voornamelijk witte lichten. De rode achterlichten hebben geen last van de witte clutter en zijn daarom in landelijke en stedelijke omgeving even opvallend.

### 5.11 Invloed van batterijspanning

Bij een lange brandduur van een LED lamp zal de batterijspanning zakken, en de lamp minder fel gaan branden. Uit observaties in de dagelijkse praktijk blijkt de leegloop van batterijen een veelvoorkomende factor te zijn die de opvallendheid van fietsers reduceert. De relatie tussen de opvallendheid van een lampje en de batterijspanning is in dit onderzoek echter niet onderzocht. Wel werd voor een LED lampje en een gewone gloeilamp de relatie tussen batterijspanning en het lichtniveau gemeten. Voor beiden blijkt dat de lichtsterkte als functie van batterijspanning geleidelijk (logaritmisch) afneemt. Wanneer de batterijspanning als functie van de gebruiksduur eveneens geleidelijk daalt dan zullen fietsers dus gedurende lange tijd rondrijden met een fietslamp die niet opvallend genoeg is. Dit probleem zou in praktijk voorkomen kunnen worden door (1) de batterijsspanning als functie van brandduur plateauvorming te laten verlopen, en een alles of niets karakter te geven, of (2) de lamp zichzelf beneden een bepaalde spanning te laten uitschakelen. Een andere optie is dat de lamp wordt voorzien van een spanningsmeter, waardoor de gebruiker continu bewust kan zijn van de afname van de zichtbaarheid van zijn lamp.

Gezien de consistente relatie tussen opvallendheid en verlichtingssterkte op het oog is het mogelijk om niet alleen voor achterlampen, maar ook voor voorlampen, richtlijnen of eisen op te stellen aan de minimale verlichtingsterkte die nodig is om een bepaalde opvallendheid te kunnen garanderen.

### 5.12 Invloed van bevestigingswijze

Verschillende moderne vormen van fietsverlichting zijn zowel aan de fiets als ook aan kleding of tassen te bevestigen. Er zijn ook lampjes verkrijgbaar die uitsluitend zijn bedoeld om aan de kleding te bevestigen. Dit roept de vraag op of de wijze van bevestiging (op de kleding of aan de fiets) consequenties heeft voor de opvallendheid van de fietsverlichting. Hoewel we in deze studie de opvallendheid niet systematisch hebben onderzocht als functie van de bevestigingswijze, kunnen we wel aan de hand van enkele tests en geometrische overwegingen enkele voorlopige conclusies trekken.

De opvallendheid van twee typen waarschuwinglampjes (V2 en V5) werd in een stedelijke omgeving op 100 m afstand gemeten voor (1) bevestiging aan het stuur en (2) midden op de borst bevestigd aan een diagonaal over de borst lopende draagriem van een schoudertas. In beide gevallen scheen de waarschuwinglamp recht naar voren. Voor beide lampjes bleek het verschil in opvallendheid tussen de beide situaties verwaarloosbaar.

In praktijk kan een lampje dat aan de kleding is bevestigd natuurlijk elke mogelijke stand aannemen, hetgeen zijn opvallendheid kan beïnvloeden. Dit aspect zal nader worden onderzocht in sectie 6.3.

Tabel 2 Opvallendheidshoek (graden) van twee verschillende typen voorlichten, bij plaatsing op kleding of stuur, gemiddeld over 3 proefpersonen.

	Op jas	Op stuur
V5	12	10
V2	34	34



## 6 Zichtbaarheid

### 6.1 Normen

In Nederland worden de wettelijk eisen gesteld aan fietsverlichting in het Voertuigreglement (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008). Fietsen moeten voorzien zijn van verlichting en retroreflectoren. De voornaamste eisen voor fietsen worden hierna gegeven. Tussen haakjes staat steeds het betreffende artikel uit het voertuigreglement vermeld.

Er moet een niet-driehoekige rode retroreflector aan de achterzijde zijn bevestigd, witte of gele retroreflectoren aan de wielen, en vier ambergele of gele retroreflectoren aan de trappers (artikel 5.9.51). De retroreflectoren aan de wielen en aan de achterzijde van de fiets moeten voorzien zijn van een door de minister bekendgemaakt goedkeuringsmerk (artikel 5.9.55).

Als bij dag of bij nacht het zicht ernstig belemmerd wordt moeten fietsen voorzien zijn van verlichting. Aan de voorzijde moet een fiets voorzien zijn van een wit licht en aan de achterzijde van een rood licht (artikel 5.18.39, 5.18.41). Fietsen mogen niet voorzien zijn van knipperende of verblindende verlichting (artikel 5.9.64). Het achterlicht moet voorzien zijn van een door de minister bekendgemaakt goedkeuringsmerk (artikel 5.18.39).

In het Voertuigreglement wordt dus verwezen naar een goedkeuringsmerk dat door de minister van Verkeer en Waterstaat wordt bekendgemaakt. Navraag bij deskundigen van het keuringsinstituut KEMA en de Rijksdienst voor het Wegverkeer leerde ons dat de goedkeuringen op dit moment worden uitgevoerd volgens een 'Regeling toelatingseisen voertuigonderdelen' uit 1994 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994).

Hierin worden kwantitatieve eisen gesteld aan de retroreflectoren en het achterlicht. Aan het voorlicht worden geen eisen gesteld.

Tabel 3 Minimum lichtsterkte in candela (cd) voor fietsachterlichten als functie van de horizontale en verticale hoek. Naast de eisen in de tabel moet de lichtsterkte in één richting binnen het bereik van de verticale hoek  $\pm 5^\circ$  en de horizontale hoek van  $\pm 5^\circ$  (\*) minstens een waarde van 2 candela bedragen.

Binnen een verticale hoek van	Binnen een horizontale hoek van			
	$\pm 5^\circ$	$\pm 10^\circ$	$\pm 45^\circ$	$\pm 110^\circ$
$\pm 5^\circ$	0,75)*	0,25	0,075	0,025
$\pm 10^\circ$	0,25	0,25	0,075	0,025

Het achterlicht moet een minimum lichtsterkte hebben voor verschillende horizontale en verticale hoeken, zoals in tabel 5 is weergegeven. In het midden van de lichtbundel moet de lichtsterkte in één richting binnen het bereik van de verticale hoek  $\pm 5^\circ$  en de horizontale hoek van  $\pm 5^\circ$  minstens 2 candela zijn. Voor de methode voor het meten van de lichtsterkte van het achterlicht wordt verwezen naar een internationale ISO-norm (ISO, 1987).

Tabel 4 CIE xy-coördinaten van het gebied waarin de rode kleur van het achterlicht zich moet bevinden.

x	0,645	0,665	0,735	0,721
y	0,335	0,335	0,265	0,259

Daarnaast worden kwantitatieve eisen gesteld aan de kleur. Deze moeten binnen het gebied liggen dat is begrensd door de CIE xy-coördinaten zoals weergegeven in tabel 6.

Een retroreflector reflecteert het licht van de autokoplampen voornamelijk terug (retro) in de richting van de auto. De retroreflector wordt daardoor een lichtbron die goed zichtbaar is voor autobestuurders. De lichtsterktecoëfficiënt  $R$  (in millicandela per lux, afgekort als mcd/lx) drukt de mate waarin het licht wordt teruggekaatst uit in de lichtsterkte van de retroreflector per hoeveelheid opvallend licht van de auto. De lichtsterktecoëfficiënt is afhankelijk van de waarnemingshoek. Dit is de hoek tussen de verbindinglijnen koplamp-reflector en reflector-waarnemer. In de regel is de lichtsterktecoëfficiënt het grootst bij kleine waarnemingshoeken, zoals die optreden bij grote waarnemingsafstanden. In het midden van de retroreflector moet de lichtsterktecoëfficiënt minstens 1000 mcd/lx bedragen voor een nieuwe retroreflector, bij een waarnemingshoek van 20 boogminuten (overeenkomend met een personenauto op een afstand van ongeveer 100 m). Na beproeving bij hoge temperatuur en na water- en brandstofpenetratie moet deze lichtsterktecoëfficiënt nog minstens 600 mcd/lx zijn. Dit is dus de lichtsterktecoëfficiënt die je op de weg bij in gebruik zijnde reflectoren kan aantreffen. Voor andere uitstralingshoeken worden wat lagere eisen gesteld. De oppervlakte van de niet-driehoekige retroreflector aan de achterzijde van de fiets mag niet meer bedragen dan 7000 mm<sup>2</sup>, en moet onder te brengen zijn in een vierkant van 140 mm bij 140 mm.

De lichtsterktecoëfficiënt van de gele reflectoren die aan de trappers zijn bevestigd mag een stuk lager zijn dan die van de rode retroreflector die achter op de fiets is bevestigd. Per trapper moet in 'gebruikte' toestand de lichtsterktecoëfficiënt minstens 10 mcd/lx bedragen, bij een waarnemingshoek van 20 boogminuten.

Navraag bij de deskundigen leerde ons dat er tegenwoordig vrijwel geen typegoedkeuringen meer worden uitgevoerd volgens de 'Regeling toelatingseisen voertuigonderdelen' (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994). Dat komt deels doordat de regeling is gebaseerd op de klassieke achterlichten met een gloeilampje en een roodfilter. Verder wordt er volgens ons in praktijk bij de handhaving geen controle uitgevoerd naar het typegoedkeuringsmerk.

## 6.2 Berekening van de zichtbaarheid

Als de hoeveelheid licht die van een lichtbron op het oog van de waarnemer valt een bepaalde drempelwaarde overschrijdt dan is die lichtbron zichtbaar. We nemen aan dat het achterlicht of de retroreflector beschouwd kunnen worden als puntvormige lichtbronnen (deze aanname geldt in goede benadering voor de waarnemingsafstanden die een rol spelen in de scenario's die in deze studie worden beschouwd). Door deze aanname is de fotometrische kwadratenwet van toepassing. De hoeveelheid licht die op het oog van de waarnemer valt kan dan worden uitgedrukt in de verlichtingssterkte  $E_{oog}$  (in lux; afgekort lx) die als volgt van de lichtsterkte van de lichtbron  $I$  (in candela; afgekort cd), de transmissie  $T$  van de atmosfeer en de afstand  $a$  (in m) tot de lichtbron afhangt (Alferdinck & Hoedemaeker, 2002):

$$E_{oog} = \frac{IT}{a^2} \quad (8)$$



De transmissie van de atmosfeer hangt af van de afstand  $a$  en het meteorologisch zicht ( $Z$  in m).

$$T = e^{-3a/Z} \quad (9)$$

Als de verlichtingssterkte op het oog  $E_{oog}$  groter is dan een bepaalde drempelwaarde  $E_{th}$  dan is de lichtbron zichtbaar. Deze waarnemingsdrempel is afhankelijk van de helderheid van de omgeving, de zgn. omgevingsluminantie. Voor donkere omgevingen buiten de bebouwde kom, waarin de omgevingsluminantie doorgaans lager is dan  $0,01 \text{ cd/m}^2$ , is de lichtbron juist zichtbaar wanneer de verlichtingssterkte gelijk is aan of hoger is dan  $10^{-7} \text{ lx}$  (de minimale detectiedrempel met een detectiekans van 95%; zie Padmos & Vos, 1974). Wanneer een lichtbron opvallend en duidelijk waarneembaar moet zijn, zoals in verkeerssituaties op de weg en op het spoor het geval is, dan wordt vaak een minimale verlichtingssterkte op het oog  $E_{min}$  gebruikt van  $2 \times 10^{-6} \text{ lx}$ . Bij een hogere omgevingsluminantie is detectiedrempel (en dus ook de minimaal benodigde verlichtingssterkte) hoger. Voor het waarnemen van verkeerslichten overdag wordt door de CIE (CIE, 1980) een verlichtingssterkte aanbevolen die gelijk is aan  $2 \times 10^{-6}$  maal de achtergrondluminantie. De combinatie van deze twee eisen geeft een afhankelijkheid analoog aan de formule die Vos (Vos, 1977) heeft toegepast voor het berekenen van de zichtbaarheid van spoorweglichtseinen:

$$E_{min} = 2 \times 10^{-6} (1 + L_b) \quad (10)$$

Hierin is  $L_b$  de achtergrondluminantie in  $\text{cd/m}^2$ . Voor de metingen de bebouwde kom in deze studie met een omgevingsluminantie van  $0,63 \text{ cd/m}^2$ , wordt dus de minimale verlichtingssterkte  $3,3 \times 10^{-6} \text{ lx}$ . Merk op dat deze drempels gelden voor foveale waarneming zonder dat er daadwerkelijk gezocht hoeft te worden naar de lichtbron. Als de lichtbron zich in de periferie van het gezichtsveld bevindt of als de locatie onbekend is kunnen de benodigde verlichtingssterkte op het oog sterk oplopen.

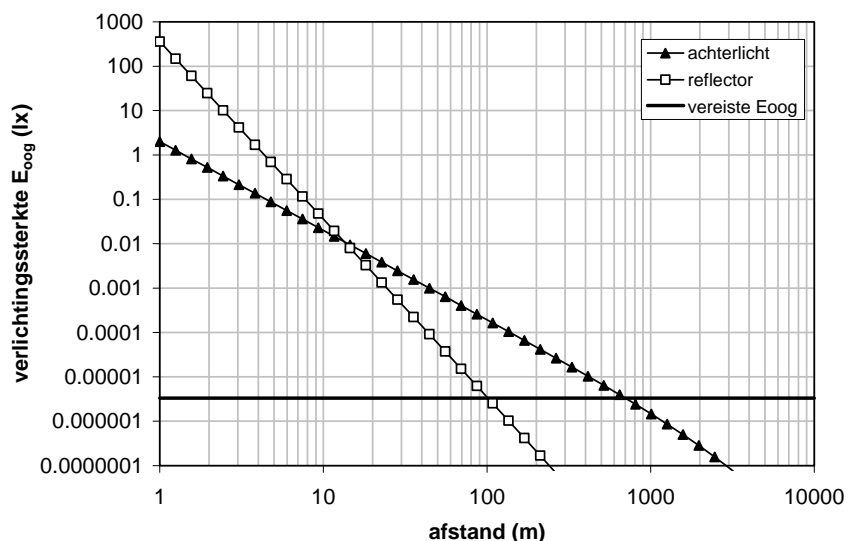
De detectieafstand van reflectoren is op dezelfde manier te berekenen als de detectieafstand van achterlichten. De reflector kan beschouwd worden als een lamp, met als verschil dat het licht van deze 'lamp' het gereflecteerde licht is van de koplampen van de automobilist. Rekening houdend met de verzwakking van de atmosfeer is dan de verlichtingssterkte op het oog van de waarnemer ten gevolge van het licht dat door de reflector in de richting van de waarnemer wordt teruggekaatst te berekenen met de volgende formule (zie Alferdinck & Hoedemaeker, 2002):

$$E_{oog} = \frac{RI_k T^2}{1000a^4} \quad (11)$$

Hierin is  $R$  de lichtsterktecoëfficiënt in  $\text{mcd/lx}$ ,  $I_k$  de lichtsterkte van de koplampen van de auto in de richting van de retroreflector (in  $\text{cd}$ ). De lichtsterktecoëfficiënt is de verhouding tussen de lichtsterkte van de retroreflector ( $\text{cd}$ ) en de verlichtingssterkte ( $\text{lx}$ ) van het licht van de koplampen dat op de retroreflector valt.

Merk op dat de verlichtingssterkte op het oog van de waarnemer omgekeerd evenredig is met de afstand tot de vierde macht, en dat de verzwakking door de atmosfeer twee keer meetelt. Bij lampen die zelf licht uitstralen, zoals een achterlicht, is de verlichtingssterkte op het oog omgekeerd evenredig is met de afstand in het kwadraat, en telt de

verzakking door de atmosfeer slechts één keer mee (zie formule (8)). Hierdoor verloopt de overgang tussen niet-zichtbaar en wel-zichtbaar bij reflectoren veel abrupter dan bij achterlichten. Dit is geïllustreerd in figuur 24. Hier is de verlichtingssterkte op het oog van de waarnemer ten gevolge van het licht van een achterlicht en een retroreflector uitgezet als functie van de afstand. In dit voorbeeld wordt aangenomen dat de lichtsterkte van de gedimde koplampen 600 cd is, het meteorologisch zicht gelijk is aan 10 km, de lichtsterktecoëfficiënt van de reflector 600 mcd/lx is, en het achterlicht een lichtsterkte heeft van is 2 cd. De minimale verlichtingsterkte die vereist is voor verkeers toepassingen geldt voor een donkere omgeving met een luminantie van  $< 0,01 \text{ cd/m}^2$ . Figuur 24 laat zien dat de verlichtingssterkte van de reflector veel sneller afneemt met de afstand dan de verlichtingssterkte van het achterlicht. Op een afstand van ongeveer 15 m zijn de bijdrage van het achterlicht en de retroreflector ongeveer gelijk. Voor kortere afstanden is de retroreflector beter; voor grotere afstanden is het achterlicht beter. De detectieafstand van de retroreflector (opvallendheidsdrempel) is 100 m; die van het achterlicht is ruim 600 m. Op grote afstand is dus een achterlicht dat zelf licht uitstraalt altijd beter dan een reflector die het moet hebben van het teruggekaatste licht van autokoplampen. Zelfs als de automobilist groot licht voert is op grote afstand het achterlicht nog steeds zichtbaarder dan de reflector. Bij groot licht komt er ongeveer 100 keer meer licht op de reflector. Dat betekent een vergroting van de zichtbaarheidsafstand met ruim een factor 3 (vierdemachtswortel uit 100, zie formule (11)).



Figuur 24 Verlichtingssterkte op het oog van de waarnemer, veroorzaakt door het licht van een achterlicht en een retroreflector, als functie van de afstand. De vereiste verlichtingssterkte op het oog geldt voor een donkere omgeving met een luminantie van  $0,01 \text{ cd/m}^2$ . De retroreflector weerkaatst het licht van een auto die dimlicht voert. Zie tekst voor verdere details.

### 6.3 Afdekking van de verlichting

De opvallendheidsmetingen die in dit rapport worden beschreven werden verricht met een opstelling waarbij de geselecteerde lampjes zodanig bevestigd waren aan een paal, dat hun hoogte en positie overeenkwam met die van lampjes die aan een fiets zijn bevestigd. In deze opstelling waren de lampjes altijd zichtbaar. In praktijk zijn er echter verschillende situaties denkbaar waarbij fietsverlichting die niet aan de fiets zelf is bevestigd door de fietser, zijn kleding, of andere attributen (zoals rugzak) bedekt kan worden. Een bedekt lampje is niet zichtbaar en is dus per definitie niet opvallend.

Men mag er echter vanuit gaan dat een fietser een lampje zodanig bij zich draagt dat het lampje niet wordt bedekt. Maar ook wanneer het lampje niet bedekt is en doelmatig is bevestigd (bijvoorbeeld recht vooruit schijnend) zijn er situaties denkbaar waarin het lampje wordt afgeschermd en dus niet zichtbaar is. Aan de hand van computersimulaties onderzochten we daarom in welke situaties en in welke mate dit probleem voorkomt. We bestudeerden hiervoor de situatie van een fietser die een voorlamp op de borstkas bevestigd heeft. Dit komt in praktijk vaak voor aangezien kleding daar vaak de mogelijkheid toe biedt (borstzak) of in verband met de aanwezigheid van draagbanden van rugzakken waarop de clip van de lamp geklemd kan worden.

Voor een tweetal fietshoudingen (rechttop: 'stadsfiets', en gebogen: 'racefiets'; zie figuur 25) werd onderzocht hoe het is gesteld met de zichtbaarheid van de lamp. Een mensmodel werd in het programma 'Poser' ([www.e-frontier.com/go/poser](http://www.e-frontier.com/go/poser)) in de twee voornoemde houdingen geplaatst. De hieruit resulterende polygonenset die de vorm van de fietser beschrijft werd daarna in het programma Mathematica ([www.wolfram.com](http://www.wolfram.com)) geïmporteerd, waarna voor een groot aantal kijkhoogtes en -richtingen werd onderzocht hoe het met de zichtbaarheid van het lampje gesteld was. Als vanuit een bepaalde richting en hoogte de kijklijn naar het lampje (om precies te zijn, het midden van het lampje) onderbroken werd door een element van de polygonenset (de fietser), dan werd voor die positie het lampje gemarkeerd als onzichtbaar.

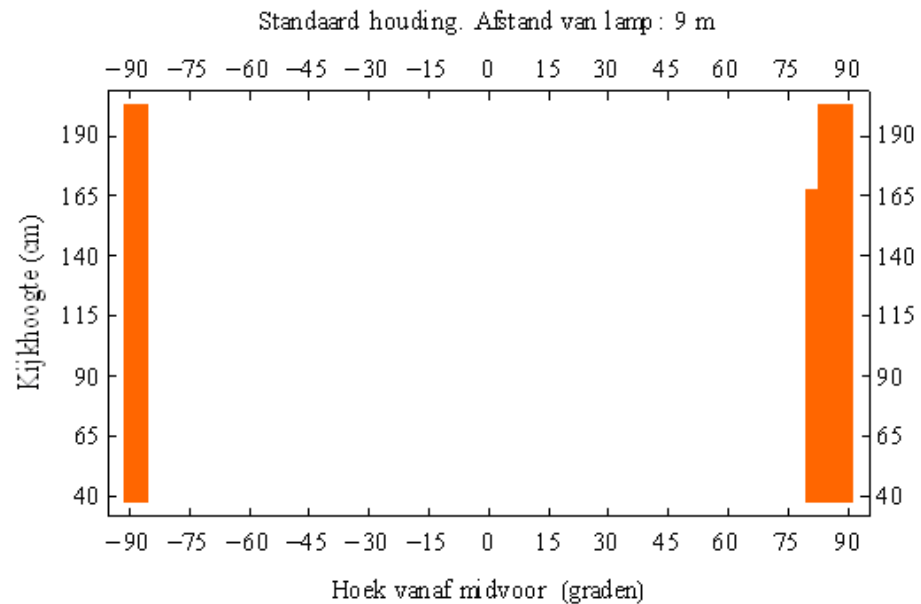


Figuur 25 De zichtbaarheid van een lampje bevestigd op de borstkas tussen de schouders, getoond voor twee verschillende fietshoudingen ('stadsfiets' en 'racefiets') en verschillende kijkhoeken.

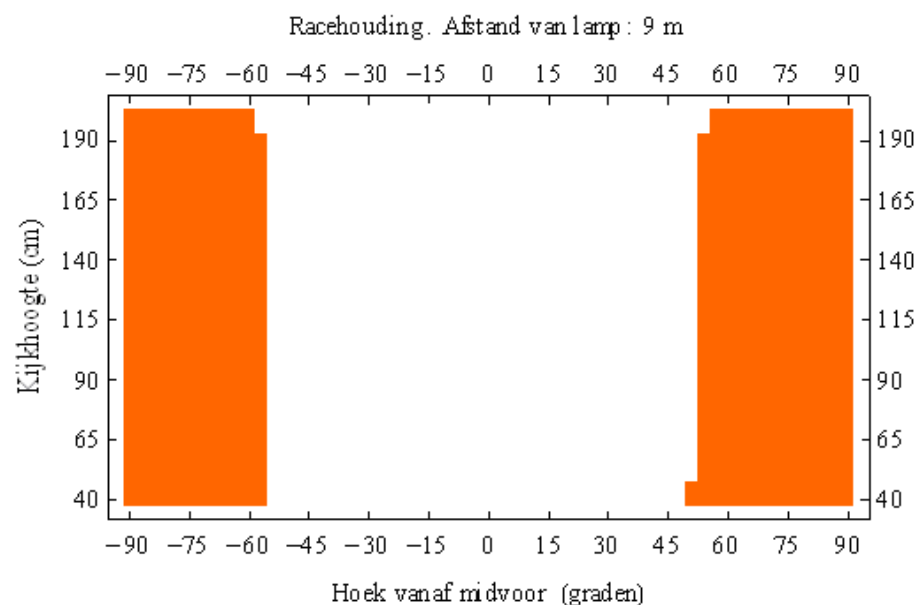
Het resultaat is te zien in figuur 26 en figuur 27. Duidelijk is dat in de stadsfietsituatie (figuur 26) het licht in vrijwel de gehele voorwaartse sector zichtbaar is (slechts circa  $18^\circ$  van de  $180^\circ$  ontbreken). In de situatie met de racefiets (figuur 27) ontbreekt echter meer dan  $1/3$  van het veld. Of dit leidt tot afdekking hangt af van de opvallendheid (en de uitstralingskarakteristiek) van de betreffende lampen. Voor lampen met geringe opvallendheid zal dit niet uitmaken. De geringe hoek waaronder deze worden

waargenomen zal kleiner zijn dan de  $60^\circ$  waarover de lamp nog zichtbaar is in deze situatie. Voor lampen met een grote opvallendheid en een grote zijwaartse uitstraling kan deze uitkomst betekenen dat de opvallendheid wordt ingeperkt.

Het is goed om op te merken dat in de racehouding de lamp ook duidelijk naar voren en naar beneden helt (zie figuur 25). Naast de bovengenoemde afdekking hebben we dan ook te maken met een lichtuitstraling die daardoor minder gunstig zal zijn. Zoals uit de sectie over de lichtbundelprofielen blijkt (sectie 3.2), neemt bij de meeste lampen de helderheid bij rotatie in verticale richting zeer sterk af.



Figuur 26 Zichtbaarheid van een lampje bevestigd op de borstkas tussen de schouders, voor de fietshouding 'stadsfiets', als functie van de kijkhoogte van de waarnemer (verticale as) en de zijwaartse hoek (horizontale as). Een oranje kleur betekent: niet zichtbaar. De modelfietser zat niet helemaal symmetrisch op de fiets, vandaar dat links en rechts enige verschillen zichtbaar zijn. Van belang is de som van de afdekking ter linker- en rechterzijde.



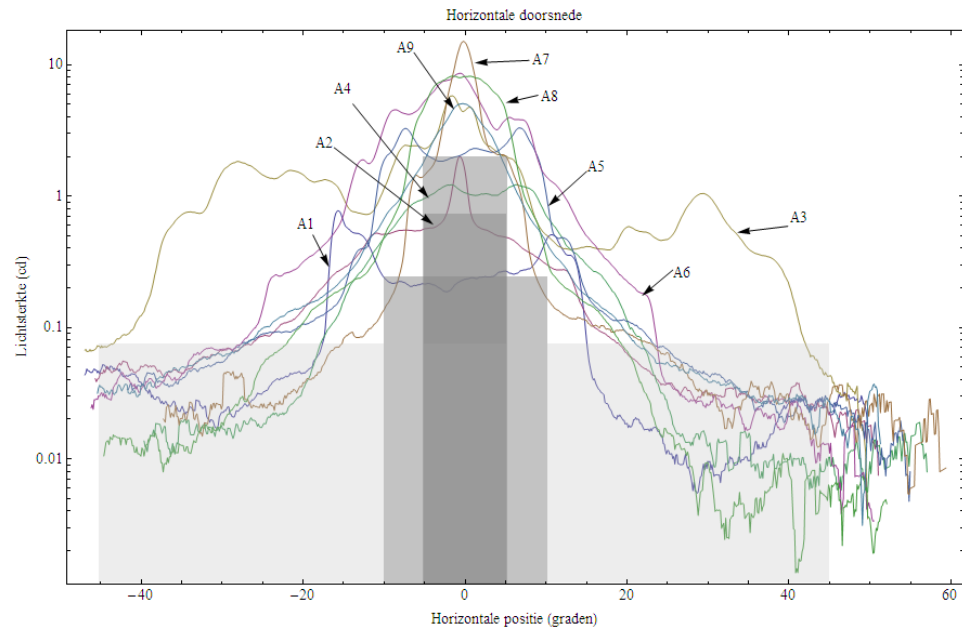
Figuur 27 Als figuur 26, voor de fietshouding 'racefiets'.

## 6.4 Achterlichten en wettelijke normen

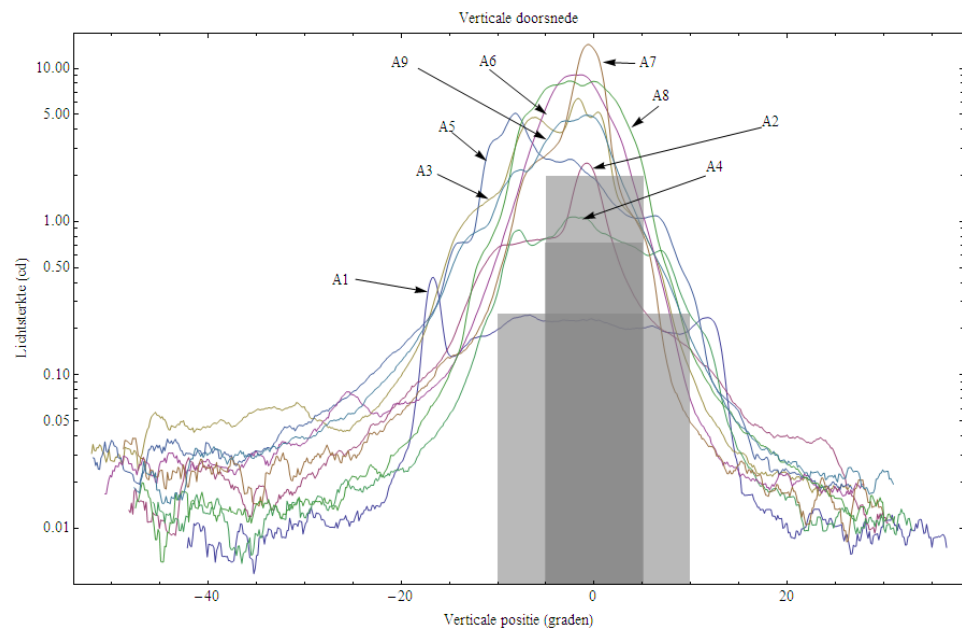
Door de uitkomsten van deze metingen te vergelijken met de in tabel 5 vermelde minimum lichtsterkte zoals die wordt voorgeschreven in de 'Regeling toelatingseisen voertuigonderdelen' uit 1994 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994) kan worden vastgesteld of de geselecteerde achterlichten voldoen aan de wettelijke goedkeuringseisen. Hieruit blijkt dat A1 en A4 niet voldoen binnen hoeken van respectievelijk  $\pm 5$  graden en  $\pm 45$  graden, en dat A8 niet voldoet binnen een hoek van  $\pm 45$  graden.

In het laboratorium werd voor alle geselecteerde lichten de lichtsterkte gemeten onder verschillende hoeken. Figuur 28 en figuur 29 tonen respectievelijk de horizontale en verticale lichtsterkteprofielen van de gebruikte set achterlampen (na omrekening van de op een projectiescherm gemeten luminantiewaarden). De grijze vlakken in deze figuren geven de minimum lichtsterkte zoals die wordt voorgeschreven in de 'Regeling toelatingseisen voertuigonderdelen' uit 1994 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994), dat wil zeggen de wettelijke norm aan waaraan de lampen minimaal dienen te voldoen. Lampen die voldoen aan de wettelijke norm hebben profielen die overal boven de grijze vlakken uit steken. Een uitzondering hierop vormt het hoogste vlak: daarvoor geldt dat de lichtsterkte van de lamp slechts op een enkel punt minimaal gelijk dient te zijn aan de norm. De omzetting van luminanties naar lichtsterkten is niet volledig nauwkeurig. Deze grafieken en de volgende dienen daarom als indicatief beschouwd te worden, en kunnen niet gebruikt worden om harde uitspraken te doen ten aanzien van het al dan niet voldoen aan de wettelijke norm. De lage waardes voor de grotere excentriciteiten zitten op een lichtniveau waarbij aan de nauwkeurigheid van de gebruikte luminantie camera getwijfeld kan worden.

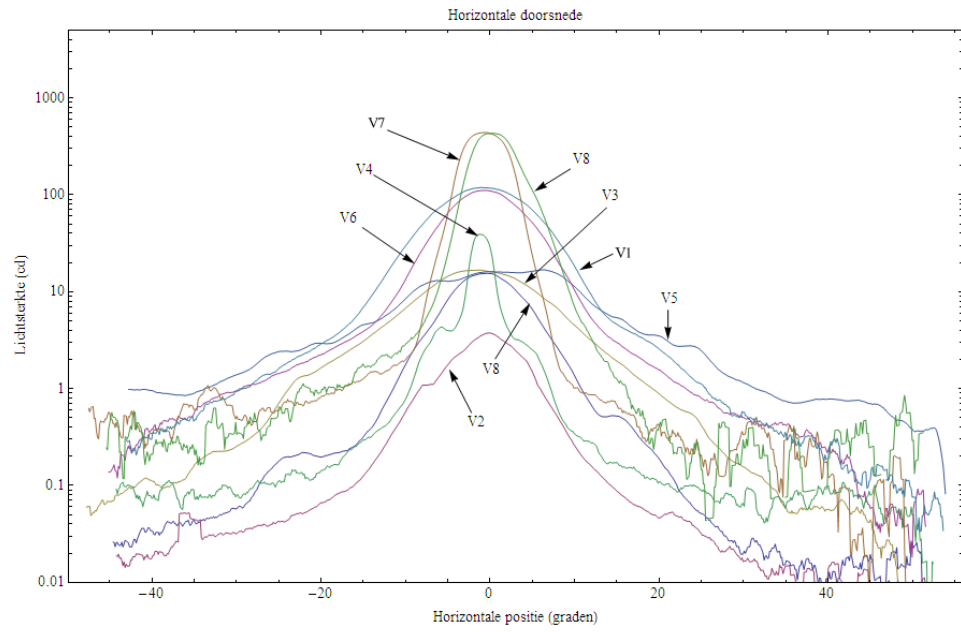
Figuur 30 en figuur 31 tonen respectievelijk de horizontale en verticale lichtsterkteprofielen van de gebruikte set voorlampen. De camera heeft een eindig bereik aan meetwaarden, dat wil zeggen dat er een vaste factor zit tussen de hoogste meetbare waarde en de laagste van nul verschillende waarde. Voor zeer heldere lampen stelt de camera zich zodanig in dat de helderste waarden gemeten kunnen worden. Dit betekent dat de laagst mogelijke waarden automatisch meeschalen en dat de minimale waarden van de lampen slecht vergeleken kunnen worden en waarschijnlijk op vergelijkbare niveaus zouden moeten uitkomen. Om de curves iets minder ruzig te maken is de data verder door een 'lopend gemiddelde' filter gehaald, met een venster van 10 datapunten (de grafieken bevatten 749 punten voor de horizontale doorsneden en 581 voor de verticale doorsneden).



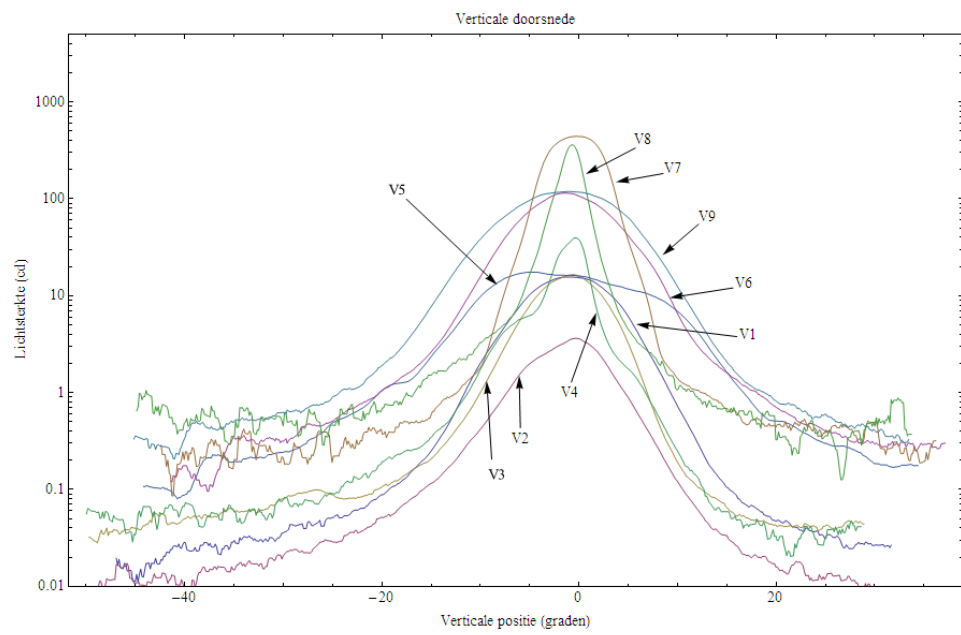
Figuur 28 Horizontale doorsnede van de lichtsterkteverdeling van de 9 geselecteerde achterlichten. De grijze vlakken representeren de wettelijke norm waaraan de lampen minimaal moeten voldoen.



Figuur 29 Als figuur 28, voor de verticale doorsnede van de lichtsterkteverdeling van de 9 geselecteerde achterlichten.



Figuur 30 Horizontale doorsnede van de lichtsterkteverdeling van de 9 geselecteerde voorlichten.



Figuur 31 Verticale doorsnede van de lichtsterkteverdeling van de 9 geselecteerde voorlichten.





## 7 Conclusies

Er is geen literatuur waarin een relatie wordt gelegd tussen het voeren van fietsverlichting en de opvallendheid of verkeersveiligheid van fietsers bij duisternis. In dit hoofdstuk worden de conclusies beschreven die we kunnen trekken uit het onderzoek naar de opvallendheid van verschillende fietslampen die anno 2008 op de markt zijn. Daarbij is de opvallendheid van de verschillende lampen steeds vergeleken met de opvallendheid van een conventionele voor- en achterlamp die veelal aangedreven wordt door een dynamo. Daarnaast zijn enkele conclusies getrokken voor knipperende fietsverlichting op basis van de waarnemingstheorie.

Conclusies voor de voorverlichting bij fietsen:

- Continu brandend zijn sommige van de hier bestudeerde voorlichten duidelijk minder opvallend, en andere duidelijk opvallender, dan het conventionele voorlicht dat als referentie werd gebruikt.
- Wanneer een voorlamp recht naar voren schijnt maakt het voor zijn opvallendheid niet uit of deze op de kleding of aan de fiets is bevestigd. Bij een scheve bevestiging (diagonaal, verticaal of vooroverhellend) is de opvallendheid van een moderne voorlamp doorgaans minder dan bij een horizontale bevestiging.
- Bij een voorover gebogen fietshouding (zoals die bij een racefietser voorkomt) kan de sector waarbinnen het lampje kan worden gezien met meer dan een derde afnemen. Ook zorgt een gebogen houding voor een kanteling van het lampje waardoor doorgaans de lampjes onder een minder gunstige hoek bekeken worden. De meeste lampjes zijn het helderst in de voorwaartse richting en hun luminantie neemt onder een andere hoek waargenomen vrij snel af. De opvallendheid daalt hierdoor eveneens.
- Knipperend gebruik van voorlampen verhoogt doorgaans hun opvallendheid. Er is geen duidelijk verband tussen de knipperfrequentie en de opvallendheid van een fietslamp.

Conclusies voor de achterverlichting bij fietsen:

- Continu brandend zijn alle in dit onderzoek bestudeerde achterlampen qua opvallendheid vergelijkbaar of beter dan de gebruikte conventionele referentie achterlichten.
- Wanneer een achterlamp recht naar achteren schijnt maakt het voor zijn opvallendheid niet uit of deze op de kleding of aan de fiets is bevestigd. Bij een scheve bevestiging (diagonaal, verticaal of vooroverhellend) is de opvallendheid van een moderne achterlamp doorgaans minder dan bij een horizontale bevestiging.
- Voor achterlichten draagt knipperlicht weinig bij aan hun opvallendheid. In een landelijke omgeving kan het knipperen van achterlichtjes zelfs leiden tot een afname van hun opvallendheid.

Overige conclusies op basis van literatuur:

- Voor bepaalde omgevingen kan een minimaal toelaatbare opvallendheid van fietslampjes worden gedefinieerd, en kunnen de daarbij behorende eisen aan hun lichtsterkte worden bepaald.
- Op basis van waarnemingstheorie kunnen de volgende nadelen van knipperende fietsverlichting worden verondersteld:
  - In de hoeken van iemands gezichtsveld kan een knipperende fietslamp verward worden met een hulpdienst. In het ‘perifere zicht’ wordt namelijk geen kleur waargenomen.
  - Knipperende fietslampen kunnen de koers- en snelheidsinschatting voor het andere verkeer bemoeilijken (Churan & Ilg, 2002). Dit probleem zal sterker spelen naarmate meer fietsers knipperende fietsverlichting voeren. Met continu brandend licht is de koers van een fietser voortdurend waarneembaar.
  - Knipperende fietslampen helpen een fietser niet bij de eigen oriëntatie.

## 8 Discussie

Vanwege de beperkte tijd die voor dit onderzoek beschikbaar was hebben we de opvallendheid van de geselecteerde fietsverlichting slechts voor 2 scenario's kunnen bestuderen, te weten (1) de nadering van een fietser op dezelfde weg en (2) het kruisen van een fietser van rechts (bijvoorbeeld bij het afslaan naar rechts). Dit tweede scenario hebben we wel voor verschillende stadia in het proces (verschillende hoeken c.q. afstanden van de waarnemer tot de fietser) onderzocht.

Er werd gemeten bij droge weerscondities en goed zicht. In praktijk kan de opvallendheid van fietslampen ten gevolge van variaties in weersomstandigheden aanzienlijk verschillen. Denk bijvoorbeeld aan een situatie waarin een afbuigende of uitparkerende automobilist geconfronteerd wordt met een achteropkomende fietser. In zo'n geval zal de opvallendheid van de fietsverlichting waarschijnlijk veel minder zijn door de aanwezigheid van (helder oplichtende) druppels op de zijspiegel of de zijramen, in combinatie met afleidende stadsverlichting (of etalages) en verblinding door tegemoetkomend verkeer.

Oorspronkelijk was het de bedoeling om uit de gemeten opvallendheden voor alle bestudeerde condities een detectieafstand te berekenen op basis van de hoogst mogelijke (realistische) snelheid die een automobilist in deze scenario's kan hebben. In de praktijk bleken enkele lampen een opvallendheidshoek te hebben die de 90° benaderde of daar zelfs bovenuit kwam. Hierdoor was het niet in alle gevallen mogelijk om de omrekening van gemeten opvallendheidshoek naar een detectieafstand te kunnen maken.

Wanneer een fietswaarschuwingslamp op de borst wordt bevestigd, zodanig dat deze recht naar voren schijnt, speelt bij een normale fiethouding afdekking vrijwel geen rol. De verticale hoek waaronder de lamp wordt geplaatst is wel van belang: een naar beneden gerichte lamp zal sterk in opvallendheid afnemen.

De helderheid en de uitstralingskarakteristiek van de in dit onderzoek gebruikte fietslampen varieerden sterk. Zelfs lampjes die uiterlijk weinig of niet van elkaar verschillen (die op het oog identieke armaturen hebben) vertoonden geheel verschillende karakteristieken. Het is daarom niet eenvoudig om de zichtbaarheid van de verschillende lampen met elkaar te vergelijken. Een felle voorlamp met een smalle bundel zal op grote afstand duidelijk waarneembaar zijn (een grote opvallendheid hebben) als men direct in de bundel kijkt, maar kan op korte afstand zeer onopvallend worden wanneer men niet langer in de bundel kijkt maar ernaast. Omgekeerd kan een zwak lampje met een brede bundeldoorsnede, dat op grote afstand erg onopvallend is, op korte afstand opvallender worden dan een felle lamp met een smaller bundelprofiel. Verder bleken sommige profielen meerdere maxima te vertonen als functie van de aanzichtshoek, waardoor ze bij een nadering dus soms even wel en dan weer even niet opvallend kunnen worden.

In sommige gevallen zijn knipperende lampen meer opvallend dan continu brandende lampen. Echter, tijdens metingen hebben we opgemerkt dat knipperende lampen aangezien kunnen worden voor waarschuwingslampen van hulpverleningsdiensten (zelfde frequenties). Dit komt mede omdat men in het perifere gezichtsveld geen kleur kan onderscheiden en men dus niet ziet of het knipperende licht blauw of wit is.

In principe kan continu brandende verlichting opvallend genoeg zijn, en is er geen dwingende reden om knipperende fietsverlichting te gebruiken. Bij fietslichten die bedoeld zijn om het wegdek direct voor de fietser te verlichten ligt het niet voor de hand om knippering toe te passen, omdat dat de visuele oriëntatie van de fietser zelf zal belemmeren, en omdat het vanwege de doorgaans hoge intensiteit van dit type lampen storend kan zijn voor de overige weggebruikers.

Zoals we al eerder opmerkten zijn verschillende van de hier bestudeerde voorlichten duidelijk minder opvallend dan het conventionele voorlicht dat als referentie werd gebruikt. Het gebruik van dergelijke lampjes kan de fietser een valse illusie van veiligheid geven (de fietser in de waan laten dat hij duidelijk zichtbaar is voor de overige weggebruikers), hetgeen aanleiding kan geven tot gevaarlijke verkeerssituaties.

Fietslampjes met overdreven hoge intensiteiten kunnen overige weggebruikers hinderlijk verblinden wanneer ze niet goed zijn uitgericht.

## 8.1 Absolute criteria

Voor fietslichten is het lastig een absolute eis voor de opvallendheid te formuleren. Voor de opvallendheid van verkeersborden wordt in het algemeen als criterium gehanteerd, dat het doel op een minimale remwegafstand tot 40° perifeer nog opvallend moet zijn, overeenkomstig met een typische kijkhoek van een automobilist die op zijn dashboard kijkt. Omdat hierbij de verkeersborden op grote afstand liggen, blijven de hoeken vrij constant. Deze situatie is vergelijkbaar met nadering van een tegenligger of voorligger op dezelfde weg. Uit de berekeningen blijkt dat de minimale remweg dusdanig groot is, dat de opvallendheid als functie van tijd slechts zeer geleidelijk toeneemt. Nog afgezien van weersomstandigheden is de vertaling van opvallendheid gemeten voor een statische scène naar een schatting voor een dynamische situatie niet eenduidig.

## 8.2 Fluctuaties in opvallendheid bij kruisingen

Bij scenario's met kruisingen is de variatie die optreedt in de opvallendheid van een fietslamp complex, en zal er minimaal een validatie met een dynamische praktijk situatie nodig zijn om een verantwoord absoluut criterium voor een statische situatie te kunnen bepalen. Bij nadering van een kruising zal de opvallendheid naar verwachting sterk over de tijd fluctueren. Beschouw bijvoorbeeld de situatie waarin een fietser van rechts komt, of een automobilist die rechts afslaat een fietser kruist die rechtdoor gaat. In beide gevallen verandert dan niet alleen voortdurend de onderlinge afstand, maar ook de oriëntatie van de fietser en zijn ligging (excentriciteit) ten opzichte van de rijrichting van de waarnemer. Gemakshalve verwaarlozen we de variatie van lichtintensiteit met de afstand (over de afstanden die hier een rol spelen is dat een redelijke aanname). Door de variatie in de geometrie van de situatie over de tijd zal dan de zichtbaarheid van het rode licht afnemen. Bij een grote afstand tussen de fietser en de automobilist is namelijk de rode achterlamp in het geval van een kruisende fietser van de zijkant zichtbaar, en in het geval van een rechtsafslaanende automobilist zelfs van achteren. Wanneer de twee elkaar dichter genaderd zijn is de rode achterlamp in het geval van een kruisende fietser niet langer zichtbaar, en in het geval van een rechtsafslaanende automobilist wordt die dan of van de zijkant waargenomen (zolang de auto achter de fietser niet heeft ingehaald) of is deze niet langer zichtbaar (na inhalen). Ondertussen neemt het witte voorlicht toe in lichtintensiteit omdat de waarnemer steeds dichterbij het centrum van de bundel komt. Dit betekent mogelijk dat er in een dergelijk

dynamisch scenario ergens een dip zit in de opvallendheid als functie van tijd. Tegelijk verschuift in de tijd de fietser steeds meer naar de periferie van het gezichtsveld van de waarnemer, waardoor zijn opvallendheid afneemt. Het is moeilijk te voorspellen hoe de waarnemer dit over de tijd zal integreren. De vertaling van de opvallendheid gemeten in een enkele statische situatie naar een detectiekans in een werkelijke dynamische situatie is daarom lastig te maken en zou eerst gevalideerd moeten worden met rijdende fietsers en liefst rijdende waarnemers.

### **8.3 Beweging**

Er is gemeten met statische waarnemers en fietsverlichting op een stilstaand statief. Beweging van een object kan net als kleur een object sterk doen opvallen tijdens zoekexperimenten. Kwalitatieve observaties tijdens pilots suggereren dat de opvallendheid van een kruisende fietser ten opzichte van een stilstaande fietser, gemeten in stedelijk verlichting, inderdaad wat groter is (in de orde van 5 graden bij een opvallendheid van circa 45 graden), maar dat bijvoorbeeld een slingerende beweging met een uitwijking van 1 graad en een frequentie van ongeveer 1 Hz op grote afstand niet bijdraagt aan de opvallendheid van de fietser. De verwachting is echter dat relatieve uitspraken over verschillen in opvallendheid tussen fietslampen in eerste orde geldig blijven.

### **8.4 Invloed weersomstandigheden**

De metingen zijn uitgevoerd onder goede weersomstandigheden op een droge dag. Atmosferische factoren, zoals mist, regen of condensvorming op de binnenruit zijn hiermee buiten beschouwing gelaten, evenals de negatieve effecten van regendruppels op de zijruiten of zijspiegels. Schittering op zijruiten of zijspiegels door stadslichten of autolichten zullen vermoedelijk erg maskerend werken. Met name bij een kruising in stedelijke omgeving is te verwachten dat de opvallendheid van een fietslicht in de praktijk een stuk lager zal zijn dan nu gemeten. Of door een nat wegdek de extra reflecties van fietsverlichting en omgevingsverlichting bijdragen aan de opvallendheid is niet evident. Aangenomen mag worden dat onder deze omstandigheden de zijwaartse afstralingskarakteristiek van voorlampen tot een hoek van circa 45 graden erg belangrijk is.

### **8.5 Schuine montage achterlamp**

Uit de verkeersscenario's volgt geen strikte noodzaak voor achterlampen om ook van de zijkant zichtbaar te moeten zijn. De opvallendheid is niet gemeten voor schuin gerichte achterlampen, maar zoals uit de afstralingskarakteristieken van de onderzochte achterlampen blijkt, kan deze sterk verschillen per type lamp. Als fietsers LED lampen op hun lichaam of tas dragen, zal de lichtbundel niet in alle gevallen recht naar de achteropkomende automobilist gericht zijn, bijvoorbeeld omdat de romp van de fietser van de vertikaal af helt (voorovergebogen fietshouding), of omdat de lamp losjes aan de kleding is bevestigd (bungelt). Aangenomen dat de maximaal te verwachten kanteling van de lamp circa 30 graden is en dat opvallendheid bepaald wordt door lichtintensiteit, zou als extra selectie criterium kunnen worden gekeken of de lichtintensiteit van een alternatief achterlicht tot 30 graden minimaal het zelfde niveau heeft als de lichtintensiteit van een conventioneel achterlicht.

Van achteren gezien is de opvallendheid van de conventionele lamp sowieso al beperkter dan 10 graden. Op grond van de theoretische situatie dat een automobilist voortdurend naar zijn dashboard kijkt, is deze opvallendheid echter wel te weinig. Of 10 graden in de praktijk ook te weinig is, is niet vastgesteld.

Wanneer de fietser met een jas aan rijdt die voor afdekking kan zorgen, is het monteren van een fietslamp aan de zadelpen af te raden. Voor mountainbikers, wielrenners of stadsfietsen zonder spatbord of bagagedrager is de enige juiste mogelijkheid het monteren van een lamp met reflector op de rug, rugzak of schouderriem. Hierbij zullen de eisen aan LED verlichting stringenter moeten zijn dan bij een gewone gloeilamp. Voor fietsers die geen mogelijkheid hebben om de lamp op de fiets te monteren, is het dragen van een lampje met een ingebouwde reflector des te belangrijker. Het dragen van single LED lampjes zonder ingebouwde reflector, zoals V1 of aan elastiekjes bungelende LED's, zou alleen daarom al afgeraden moeten worden.

We hebben vastgesteld dat verlichting die is bevestigd op de kleding, mits goed gedragen, even opvallend is als dezelfde verlichting wanneer die bevestigd op de fiets. Vanwege het reële risico van een scheve bevestiging zal van lampjes die bedoeld zijn om op het lichaam te worden gedragen de lichtopbrengst groter, en de zijwaartse afname van de lichtsterkte minder, moeten zijn dan die van een gewone gloeilamp. Op het lichaam gedragen lampjes moeten daarom tot circa 80 graden zijwaarts nog voldoende opvallend zijn (in plaats van 60 graden zijwaarts). Dit kan in praktijk worden bereikt door de lampen feller te maken en een rondom stralende karakteristiek te geven.

## 9 Aanbevelingen

### 9.1 Normen voor fietsverlichting

Op basis van de bevindingen uit deze studie kan voor bepaalde omgevingen een minimaal toelaatbare opvallendheid van fietslampjes worden gedefinieerd, en kunnen de daarbij behorende eisen aan hun lichtsterkte en uitstralingskarakteristiek worden bepaald. Dit kan een goede basis zijn voor het opstellen van een industriernorm of keurmerk voor fietsverlichting.

Zoals we in dit onderzoek hebben kunnen vaststellen bestaan er momenteel aanzienlijke verschillen in opvallendheid tussen de lampjes die momenteel verkrijgbaar zijn. Zelfs op het oog identieke lampjes met dezelfde prijs kunnen een heel verschillende uitstralingskarakteristiek hebben, en daardoor aanzienlijk verschillen qua opvallendheid.

### 9.2 Zichtbaarheid

Het verdient aanbeveling om het belang van een goede zichtbaarheid van fietslampjes te communiceren naar burgers. Dit kan gebeuren door te wijzen op het belang van een correcte bevestiging en uitrichting van de lampjes. Verder dient het belang van een rondom stralende karakteristiek bij fabrikanten en leveranciers onder de aandacht te worden gebracht.

### 9.3 Bevestiging

Er zijn verschillende fietslampen op de markt die zowel aan de fiets als aan de fietser bevestigd kunnen worden. In beide gevallen dient de fietser te zorgen voor een goede uitrichting om zodoende de opvallendheid te optimaliseren. Een optimale opvallendheid is het makkelijkst te realiseren door bevestiging op de fiets. Om de LED op de fiets te bevestigen moet er in het algemeen eerst een schroefklem op de fiets gemonteerd worden. Er zijn inmiddels ook gebruiksvriendelijkere bevestigingsmechanismen. Zo kon één van de hier geteste fietslampen zonder schroefklem aan de fiets worden bevestigd. Gebruiksvriendelijkheid kan een beperkt aantal fietsers doen besluiten om toch de verlichting aan de fiets te monteren.

Bij fabrikanten zou erop aangedrongen kunnen worden om fietslampen te voorzien van gebruiksvriendelijke mechanismen waarmee de lamp op een correcte manier aan de fiets kan worden bevestigd. De mogelijkheid om lampjes eenvoudig horizontaal vooruitschijnend uit te richten is daarbij van groot belang. Sommige van de huidige bevestigingen, die bedoeld zijn om een lamp aan het stuur (horizontaal deel van de fiets) te bevestigen, resulteren in een ongunstige uitrichting van de lamp (een verticaal gerichte bundel) wanneer de gebruiker besluit de lamp op een ander deel van de fiets te monteren (bijvoorbeeld de stuurpen of zadelpen). Dit probleem kan bijvoorbeeld eenvoudig worden verholpen door het aanbrengen van een mechanisme waarmee de lamp een kwartslag kan worden gedraaid na bevestiging.

Bij bevestiging aan het lichaam van de fietser moet de verlichting bij voortdurend duidelijk zichtbaar zijn. Dit betekent dat een lampje dus op geen enkel moment door (plooien van) kleding mag of een jas worden afgedekt of af en toe ver buiten de rijrichting mag schijnen (zoals bijvoorbeeld kan gebeuren bij bungelende ophanging aan een tas). Bij de montage van een LED onder de zadelpen bestaat er een kans op afdekking wanneer de fietser een jas draagt die over de lamp hangt. Ook bevestiging op lichaamdelen zoals de benen kan leiden tot afdekking van de verlichting. Bovendien zal bevestiging aan bewegende delen van het lichaam er toe leiden dat het lampje ook als knipperend kan worden waargenomen wanneer het continu brand (het lampje kan dan beurtelings naar de waarnemer toe en van de waarnemer af zijn gericht).

#### **9.4 Knipperen**

Het is op basis van de bestaande technologieën eenvoudig mogelijk om voorlichten voor fietsers te maken die voldoende opvallend zijn over een brede uitstralingshoek. Er is daarom geen noodzaak de opvallendheid van voorlichten te verhogen door ze te laten knipperen. De koers van een fietser is moeilijker te volgen als deze knipperende fietsverlichting voert, zeker wanneer er meerdere fietsers zijn (Churan & Ilg, 2002). De bijdrage van knipperen aan de opvallendheid van fietslampjes zal afnemen naarmate er meerdere knipperende lampjes in de omgeving zijn (ze worden dan allemaal weer even opvallend, en een extra knipperend lampje wordt dan niet eerder opgemerkt). Bovendien kan een dergelijke devaluatie van de opvallendheid van knipperen nadelig werken voor de opvallendheid van hulpverleningsdiensten (die daardoor immers ook minder zullen opvallen).

Knipperend gebruik van fietslampjes (eventueel met dusdanig hoge frequenties dat het knipperen niet waarneembaar is) kan mogelijk een energiebesparing opleveren, waardoor de levensduur van de batterijen wordt verlengd.

#### **9.5 Kleur**

Zoals we al eerder opmerkten wordt het kleuronderscheidingsvermogen van het menselijk oog naar de periferie toe slechter. De opvallendheid van voorlichten kan daarom niet worden vergroot door het gebruik van gekleurd licht. Gekleurd licht kan de effectiviteit van voorlichten zelfs verminderen omdat de detectiedrempels van het oog daarvoor hoger liggen. Verder bleek bij de uitvoering van de in dit rapport beschreven metingen dat een geel gekleurd fietslicht (V4) in een omgeving met lage druk natriumverlichting erg onopvallend wordt omdat de lichtbronnen in de omgeving een vergelijkbare kleur hebben (waardoor de clutter sterk toeneemt).

Het gebruik van gekleurd licht voor voorlichten van fietsers is daarom af te raden. Het verdient de voorkeur het knipperen te reserveren voor bijzondere waarschuwingssignalen (richtingaanwijzers, alarmlichten, hulpdiensten, et cetera).



## 10 Referenties

- Alferdinck, J.W.A.M. & Hoedemaeker, M. (2002), *Zichtbaarheid van opleggers; Praktijkproef*, (Rapport TM-02-C012), Soesterberg, The Netherlands: TNO Human Factors.
- Alferdinck, J.W.A.M., Toet, A. & van der Leden, N. (2005), *Visuele opvallendheid van bedrijfsvoertuigen van Rijkswaterstaat (in Dutch)*, (Rapport TNO-DV3 2005-C 016). Soesterberg, The Netherlands: TNO Defence, Security and Safety.
- Alferdinck, J.W.A.M., Toet, A. & van der Leden, N. (2006), *Invloed van kleur op de opvallendheid van DRIP's*, (Rapport TNO-DV 2006 C227). Soesterberg, The Netherlands: TNO Defense, Security and Safety.
- Alferdinck, J.W.A.M., Toet, A. & Varkevisser, J. (2004), *Visual conspicuity of company vehicles of the province Noord-Brabant*, (Rapport TM-04-C033). Soesterberg, The Netherlands: TNO Defence, Security and Safety.
- AVV. (2007), *Gebruik fietsverlichting in 2003-2007 : eindrapport* (Rapport ST 20072331), Rotterdam: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-generaal Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer.
- Brink, H. (2006), *Lichtvoering fietsers* (Report R-2003-33), Leidschendam, Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.
- Churan, J. & Ilg, U.J. (2002), Flicker in the visual background impairs the ability to process a moving visual stimulus. *European Journal of Neuroscience*, 16(6), 1151-1162.
- CIE. (1980), *Light signals for road traffic control* (Report CIE 48), Vienna, Austria: International Commission on Illumination CIE.
- Engel, F.L. (1971), Visual conspicuity. Directed attention and retinal locus. *Vision Research*, 11, 563-575.
- Engel, F.L. (1974), Visual conspicuity and selective background interference in eccentric vision. *Vision Research*, 14, 459-471.
- Engel, F.L. (1977), Visual conspicuity, visual search and fixation tendencies of the eye. *Vision Research*, 17, 95-100.
- Fikuart, D. & Fahlau, G. (2005), *Licht & Schatten, Aktive Radfahren*, 1-2, 98-107.
- ISO. (1985), *Cycles - Lighting and retro-reflective devices -- Photometric and physical requirements - Part 2: Retro-reflective devices* (Report International Standard ISO 6742-2). Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

- ISO. (1987),  
*Cycles - Lighting and retro-reflective devices -- Photometric and physical requirements - Part 1: Lighting equipment* (Report International Standard ISO 6742-1).  
 Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- Kampen, L.T.B. van & Schoon, C.C. (2002),  
*Tweewielerongevallen : analyse van ongevallen-, letsel- en expositiegegevens voor het bepalen van prioriteiten voor nader onderzoek* (Report R-2002-5),  
 Leidschendam, Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.
- Kooi, F.L., Toet, A. & Schöntag, C. (1998),  
*Conspicuity of firefighter jackets with fluorescent and retroreflective applications* (Rapport TNO-TM 1998 C062),  
 Soesterberg, The Netherlands: TNO Defence, Security and Safety.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (1994),  
*Regeling toelatingseisen voertuigonderdelen.*
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2008),  
*Voertuigreglement,*  
<http://wetten.overheid.nl>.
- Padmos, P. & Vos, J.J. (1974),  
*Intensity control of approach and runway lighting at low visibility at night. A theoretical study* (Rapport IZF 1974-C2).  
 Soesterberg, The Netherlands: TNO Defence, Security and Safety.
- Schoon, C.C. (2003),  
*Botsingen van het type 'fietsers - autofront' : factoren die het ontstaan en de letselernst beïnvloeden* (Rapport R-2003-33),  
 Leidschendam, Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.
- Toet, A. & Bijl, P. (2003),  
 Visual conspicuity,  
 In: Driggers, R.G. (Ed.),  
*Encyclopedia of optical engineering*, (pp. 2929-2935),  
 New York, USA: Marcel Dekker Inc.
- Toet, A., Brouwer, R. F. T., and Varkevisser, J. (2003).  
*Assessment of LEDs in bicycle pedals (Beoordeling LEDs in fietstrapper; in Dutch)* (TNO-TM 2003-M040),  
 Soesterberg, The Netherlands: TNO Defence, Security and Safety.
- Toet, A. & Kooi, F.L. (1999),  
 Conspicuity: an efficient alternative for search time,  
 In Gale, A.G.; Brown, I.D.; Haslegrave, C.M. & Taylor, S.P. (Eds.),  
*Vision in Vehicles*, VII (pp. 451-462). Oxford, UK: Elsevier Science Ltd.
- Toet, A., Kooi, F.L., Bijl, P. & Valetton, J.M. (1998),  
 Visual conspicuity determines human target acquisition performance,  
*Optical Engineering*, 37(7), 1969-1975.
- Toet, A. & Varkevisser, J. (2001).  
*The visual conspicuity of AWI and mini-AHB devices (in Dutch)*, (Rapport TM-01-C018),  
 Soesterberg, The Netherlands: TNO Defence, Security and Safety.
- Toet, A. & Varkevisser, J. (2003a),  
*Expert opinion on the influence of the flash frequency and the use of LED flashlights on the conspicuity of warning lights on AHOB railway crossings (in Dutch)* (Rapport TM-03-C043). Soesterberg, The Netherlands: TNO Defence, Security and Safety.

Toet, A. & Varkevisser, J. (2003b),  
*The visual conspicuity of the railway crossing on the Dijkwelseweg in Kapelle (in Dutch)*  
(Rapport TM-03-C042),  
Soesterberg, The Netherlands: TNO Defence, Security and Safety.

Vos, J.J. (1977),  
*De afname in het detectiebereik van Spoorweg-lichtseinen door zonwerende beglazing*  
(Rapport TNO-report IZF 1977-C12),  
Soesterberg, The Netherlands: TNO Defence, Security and Safety.



## 11 Ondertekening

Soesterberg, juni 2008

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'A.W. Bronkhorst', written in a cursive style.

prof. dr. A.W. Bronkhorst  
Afdelingshoofd

TNO Defensie en Veiligheid

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'A. Toet', written in a cursive style.

dr. A. Toet  
Auteur



## A Aangeschafte fietsverlichting

De tabellen 7 tot en met 9 geven een overzicht van de ten behoeve van deze studie aangeschafte enkele voor- en achterlampen, alsmede de aangeschafte sets voor- en achterlampen.

Tabel 5 Aangeschafte voorlampen. De zichtbaarheidsafstanden zijn aangegeven door de fabrikant.

Soort verlichting	Licht continu	Licht knipperend	Opmerkingen
4 LED Wit	ja	ja	2 verschillende lichtstanden
6 Volt 2,4 Watt lamp	ja	nee	Tot 5 lux, zwart raster voor de lens
6 Volt 2,4 Watt lamp	ja	nee	Standaard lamp
2 LED Wit, 1 HS3	ja	ja	3 verschillende lichtstanden
3 LED Geel	ja	ja	4 verschillende lichtstanden. Zichtbaar op 600 meter Reflectorglas
3 LED Wit	ja	ja	2 verschillende lichtstanden. Zichtbaar op 600 meter. Doorzichtig glad glas
Gloeilamp	ja	nee	standaard lamp
HS3 6 Volt 2,4 Watt	ja	nee	tot 10 lux
3 LED Wit	ja	ja	3 verschillende lichtstanden
Halogeen lamp, 2 LED geel	ja	ja	4 verschillende lichtstanden
1 LED Wit	ja	ja	2 verschillende lichtstanden
4 LED Wit	ja	ja	2 verschillende lichtstanden
1 LED Wit 1/2 Watt	ja	ja	2 verschillende lichtstanden
1 LED Wit	ja	nee	1 lichtstand
9 LED Wit	ja	nee	1 lichtstand. Zichtbaar tot 700 m

Tabel 6 Aangeschafte achterlampen. De zichtbaarheidsafstanden zijn aangegeven door de fabrikant.

Soort verlichting	Licht continu	Licht knipperend	Opmerkingen
5 LED Rood	ja	ja	4 verschillende lichtstanden. Zichtbaar op 600 meter.
5 LED Rood	ja	nee	Licht met licht/donker en bewegingssensor
Gloeilamp	ja	nee	Standaard achterlicht
Gloeilamp	ja	nee	Standaard achterlicht
3 LED Rood	ja	ja	3 verschillende lichtstanden
1 LED Rood	ja	nee	Wit glas met rode LED
3 LED Rood	ja	ja	4 verschillende lichtstanden. Zichtbaar op 600 meter.
2 LED Rood	ja	nee	
5 LED Rood	ja	nee	Licht met licht/donker en bewegingssensor
2 LED Rood	ja	nee	Licht met licht/donker en bewegingssensor
5 LED Rood	ja	ja	3 verschillende lichtstanden. Wit glas
1 LED Rood	ja	ja	2 verschillende lichtstanden

Tabel 7 Aangeschafte sets. De zichtbaarheidsafstanden zijn aangegeven door de fabrikant.

Soort verlichting	Licht continu	Licht knipperend	Opmerkingen
1 LED Rood / 1 LED Wit	ja	ja	2 verschillende lichtstanden
3 LED Rood / 3 LED Wit	ja	ja	2 verschillende lichtstanden
3 LED Rood / 5 LED Wit	ja	nee	Zichtbaar op 1 km
5 LED Rood / 3 LED Wit	ja	ja	2 verschillende lichtstanden. Zichtbaar tot 600 meter.
2 LED Rood / 2 LED Wit	ja	nee	Werkt op inductie stroom



## B Luminantieopnamen

In stedelijk gebied is het moeilijk om de luminantie van de directe achtergrond van de fietslampjes te meten ten gevolge van de aanwezigheid van allerlei storende lichtbronnen in de omgeving. Daarom werd in die situaties de luminantie van de achtergrond berekend uit digitale foto's (gemaakt met een Canon 400D digitale spiegelreflex camera). De foto's werden ingelezen in Matlab ([www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)), waarna de luminantie uit de pixelwaarden kon worden berekend door gebruik te maken van een eerder uitgevoerde calibratie.



Figuur 32 Digitale foto's (linkerkolom:a,c,e) en de daaruit berekende luminantieopnamen (rechter kolom:b, d, f) voor de drie stedelijke meetsituaties. De schaalwaarden voor de luminantie zijn gegeven in  $\text{cd/m}^2$ .



## C Bundelmetingen

Tabel 8 Op doorsichtscherm geprojecteerde lampbundels gemeten met luminantiecamera. De middelste kolom toont een vooraanzicht; de rechter kolom toont een zijaanzicht. Alle meetwaarden worden getoond op basis van de zelfde kleurcodering en kunnen daardoor onderling vergeleken worden. VI-V9 en A1-A9 zijn resp. de geselecteerde voor- en achterlichten. De overige (NN) lampen werden verder niet in de experimenten meegenomen.

