

University of Groningen

Kennis over Fietsverlichting anno 2021

Westerhuis, Frank; Brookhuis, Karel; de Waard, Dick

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2021

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Westerhuis, F., Brookhuis, K., & de Waard, D. (2021). *Kennis over Fietsverlichting anno 2021*. Rijksuniversiteit Groningen.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.



**rijksuniversiteit
groningen**

Kennis over Fietsverlichting anno 2021

November 2021

Frank Westerhuis, Karel Brookhuis, Dick de Waard

Faculteit Gedrags- en Maatschappijwetenschappen

Verkeerspsychologie

Inhoudsopgave

1. Introductie.....	4
1.1. Aanleiding en doel.....	4
1.2. “Fietsverlichting regulier”, wettelijke kaders en normen.....	6
2. Basistheorieën perceptie relevant voor verlichting en zichtbaarheid op de fiets ..	8
2.1. Het menselijk oog, het licht in de omgeving, de gevoeligheid	8
2.2. Signal Detection Theory.....	8
2.3. Zichtbaarheid voertuigen.....	9
3. Literatuuroverzicht	10
3.1. De tegemoetkomende fietser (zichtbaarheid van voren)	10
3.1.1. Verlichting (Actief).....	10
3.1.2. Reflectie (Passief).....	11
3.1.3. Conclusie	12
3.2. Het inhalen van een fietser (zichtbaarheid van achteren)	12
3.2.1. Verlichting (Actief).....	12
3.2.2. Reflectie (Passief).....	13
3.2.3. Conclusie	15
3.3. Het kruisen van een fietser (zichtbaarheid van opzij).....	15
3.3.1. Verlichting (Actief).....	15
3.3.2. Reflectie (passief).....	16
3.3.3. Conclusie	16
3.4. Alternatieve vormen van verlichting	17
3.5. Zien en gezien worden: uitgebreide samenvatting en discussie	18
4. Voorbeelden van nieuwe en bestaande systemen	21
4.1. Actief (verlichting)	21
4.1.1. Verlichting op een helm: Lumos Fietshelm.....	21
4.1.2. LED Verlichting in het wiel.....	21
4.1.3. Belichten van de weg: Laser LED.....	22
4.1.4. Verlichting op de fietser: LED Veiligheidsbanden	22
4.1.5. Belichten van de fietser: Ziemei.....	23
4.2. Passief (reflectie).....	23
4.2.1. Reflecterende banden voor armen en/of benen	23
4.2.2. Veiligheidsvest / Reflectievest	24

4.2.3. Spaakreflectoren.....	24
5. Antwoorden op vragen	26
6. Conclusie en discussie	30
Referenties	31

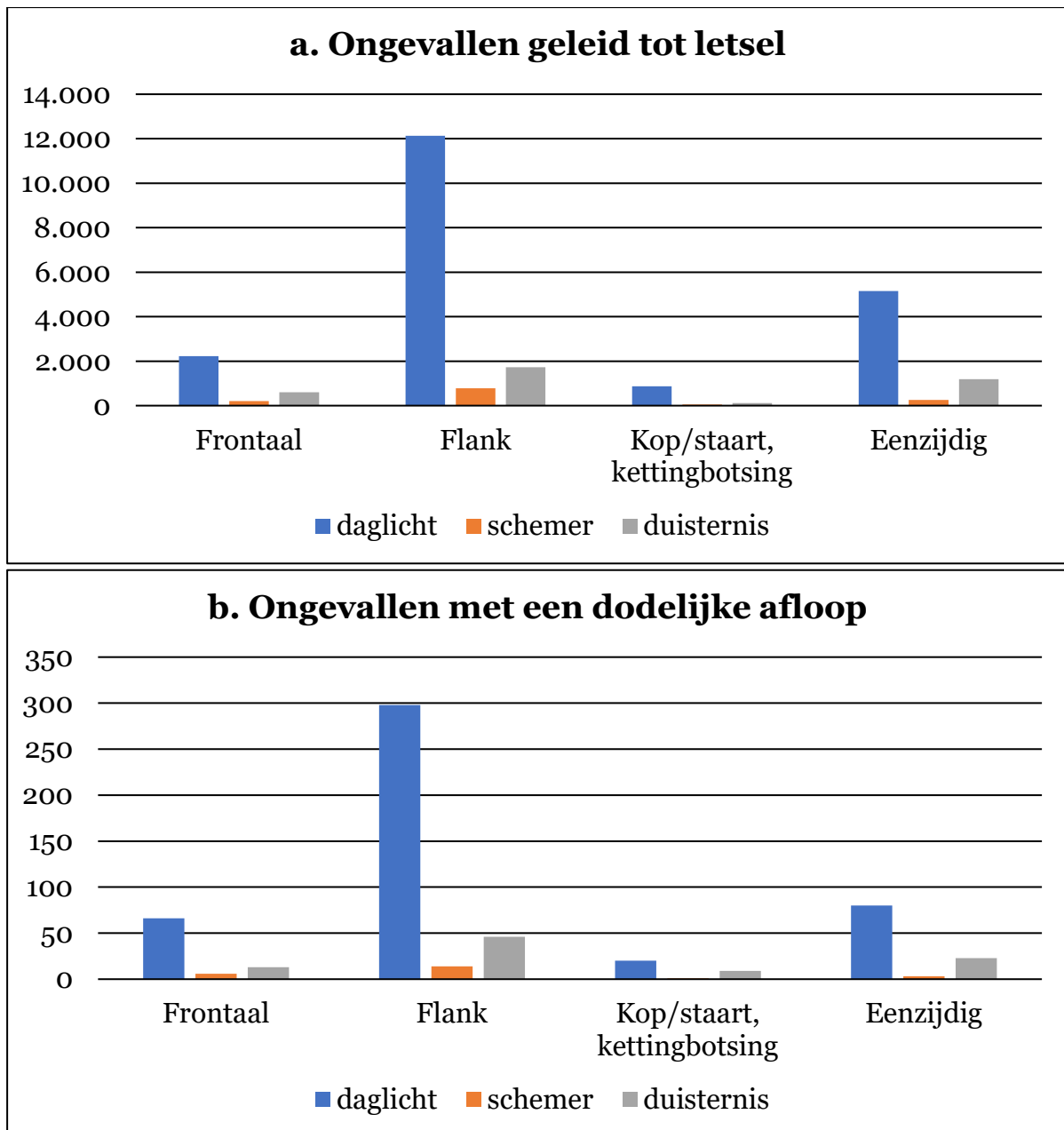
1. Introductie

1.1. Aanleiding en doel

In het najaar worden de avonden korter, en wordt het dus eerder donker. Rond deze periode wordt het belang van een goede zichtbaarheid van fietsers duidelijk: circa 20% van de fietsongevallen vindt plaats tijdens duisternis (Schepers, Nägele, & Mak, 2019). In figuur 1ab is afgebeeld van welke zijde fietsers die letsel opliepen of overleden na een aanrijding, waren aangereden (aard ongeval). Ongevallen zonder tegenpartij (eenzijdig) zijn ook afgebeeld. Ongevallen bij daglicht komen het meest voor, ongevallen waar verlichting een rol kan spelen (schemer, duisternis) betreffen vooral flank aanrijdingen en eenzijdige ongevallen.

Onder andere met campagnes als “Ik val op” proberen overheden en maatschappelijke partners zoals Veilig Verkeer Nederland deze ongevallen te verminderen door het gebruik van fietsverlichting te verhogen. In principe is er veel kennis beschikbaar over welke vormen van fietsverlichting goed zichtbaar zijn (zie bijvoorbeeld Toet et al., 2008). Er zijn echter diverse partijen, veelal startups, die speciale fietsverlichting en/of andere soorten gadgets ontwikkelen die potentieel de zichtbaarheid van fietsers verhogen, zoals LED-lampjes in pedalen, ventiellichtjes, et cetera, die vervolgens op de markt worden gebracht. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) wordt dan ook regelmatig door fabrikanten en/of ontwikkelaars benaderd met vragen over, of ideeën voor nieuwe soorten fietsverlichting. Concreet gaat het om vragen of de zichtbaarheid (en verkeersveiligheid) met behulp van fietsverlichting beïnvloed kan worden door:

1. Het wiel te voorzien van lichten die andere weggebruikers kunnen zien draaien zoals LED-lampjes, ventiellichtjes, of spaak reflectie sticks.
2. Ook de berijder aan te lichten zoals Ziemi (Ziemi, n.d.).
3. De fietsverlichting te laten knipperen.
4. Fietsverlichting met licht- of donkerdetectie, richtingaanwijzer en wegmarkeringen met lasers en remlichtfunctie.
5. Fietsverlichting op kleding of ook op een fietshelm toe te staan.
6. Fietsers overdag fietsverlichting te laten voeren.
7. Extra reflectie, bijvoorbeeld door de fiets volledig te voorzien van een reflecterende coating of reflecterende strips.
8. Een tweede achterlicht om de zichtbaarheid van fietsen met één achterwiel te vergroten.



Figuur 1: Aantal door de politie geregistreerde ongevallen (met betrokkenheid fietsers) per aard ongeval en lichtconditie (data SWOV, 2021).

Het is nog niet bekend hoe (contra)effectief dergelijke verlichtingsvormen zijn op de zichtbaarheid van de fiets. Hierom heeft Rijkswaterstaat de Verkeerspsychologie groep van de Rijksuniversiteit Groningen opdracht gegeven om een literatuuronderzoek uit te voeren naar de effecten op zichtbaarheid van verschillende vormen van verlichting en reflectie op de fiets of fietser. Deze literatuurstudie is primair gericht op zichtbaarheid bij duisternis.

In dit document op basis van (inter)nationale wetenschappelijke literatuur en rapporten van (onderzoeks)instituten, een samenvatting gegeven van de huidige literatuur over de effectiviteit van verschillende verlichtingssystemen die als doel hebben de zichtbaarheid van fietsers te verhogen. Daarnaast worden enkele systemen

besproken die op dit moment in Nederland op de markt zijn. Dit rapport beperkt zich tot fietsen, gedefinieerd als tweewielers, of driewielers met één voorwiel.

1.2. “Fietsverlichting regulier”, wettelijke kaders en normen

Verlichting is in Nederland geen wettelijke voertuigeis voor fietsen, in tegenstelling tot reflectoren. Volgens de Regeling Voertuigen, Artikel 5.9.51, moeten fietsen op twee wielen zijn voorzien van:

- a). één rode retroreflector aan de achterzijde van het voertuig;
- b). witte of gele retroreflectoren aan de wielen, en
- c). vier ambergele of gele retroreflectoren aan de trappers.

Wel schrijft Artikel 35 uit het Reglement verkeersregels en verkeerstekens 1990 (RVV 1990) voor dat fietsverlichting gevoerd te worden in het donker en/of bij slecht zicht:

1. Fietsers voeren tijdens het rijden bij nacht of bij dag indien het zicht ernstig wordt belemmerd, verlichting overeenkomstig het tweede tot en met het vierde lid.
2. Een fiets op twee wielen en een fiets op drie wielen met één voorwiel moeten zijn voorzien van een wit of geel licht dat aan de voorzijde wordt gevoerd, tenzij de bestuurder een wit of geel licht voert op zijn borst.
3. Op een fiets op meer dan twee wielen met twee voorwielen moeten aan de voorzijde twee witte of twee gele symmetrisch links en rechts van het midden bevestigde lichten worden gevoerd.
4. Een fiets moet zijn voorzien van een rood achterlicht dat aan de achterzijde wordt gevoerd, tenzij de bestuurder of een achter de bestuurder gezeten passagier een rood licht voert op zijn rug.
5. Een fiets mag zijn voorzien van twee ambergeel licht stralende richtingaanwijzers aan de voorzijde en twee aan de achterzijde.
6. Er mogen niet meer lichten worden gevoerd op een fiets, door de bestuurder daarvan of door een achter de bestuurder gezeten passagier dan de in het tweede tot en met vijfde lid genoemde lichten.

Aanvullend stelt RVV 1990, Artikel 35b, het volgende:

1. De in artikel 35 bedoelde verlichting mag andere weggebruikers niet verblinden.
2. De in artikel 35, eerste tot en met vierde lid, bedoelde verlichting mag niet knipperen.
3. De in artikel 35, eerste tot en met vierde lid, bedoelde verlichting moet:
 - a. aan de voorzijde voortdurend zichtbaar zijn voor tegemoetkomende weggebruikers;
 - b. aan de achterzijde voortdurend zichtbaar zijn voor van achteren naderende weggebruikers.

De wet schrijft dus voor onder welke omstandigheden men verlichting moet voeren en welke kleuren, bevestigingslocaties, typen, en aantallen lampen zijn toegestaan (Rijksoverheid, n.d.). Verder moet de verlichting voortdurend zichtbaar zijn, recht vooruit of achteruit schijnen, mag het andere weggebruikers niet verblinden, en mag het niet knipperen (m.u.v. richtingaanwijzers). De wet stelt echter geen specifieke eisen aan lichtintensiteit, stralingshoek, en stralingsbreedte, bijvoorbeeld.

Binnen Europa verschillen de wettelijke eisen sterk tussen verschillende landen. In hun overzicht geven Kuiken en Stoop (2012) aan dat voor wat betreft de eisen die aan fietsverlichting worden gesteld, een Europese CEN standaard (nog) een lange weg te gaan heeft. Sommige Europese landen stellen hogere eisen dan Nederland, met als lichtend voorbeeld Duitsland dat hoge eisen stelt aan de actieve verlichting. Fietsen in Duitsland moesten tot 2013 een dynamo hebben en aan de spanning en rendement van de lampen zijn ook eisen gesteld (zie Kuiken & Stoop, 2012). Zo is er in Duitsland een maximum vastgelegd aan de voorlamp ter voorkoming van verblinding: 2 lux op een afstand van 10 meter.

Wel wordt er in Europees verband gewerkt aan de realisatie van ISO-normen voor reflectie en verlichting. Specialisten werken momenteel aan de herziening van de bestaande ISO-norm, waarbij bijvoorbeeld nieuwe technologie met betrekking tot energievoorziening en verlichting (LED) meer ruimte krijgt (zie Kuiken & Stoop, 2012).

2. Basistheorieën perceptie relevant voor verlichting en zichtbaarheid op de fiets

2.1. Het menselijk oog, het licht in de omgeving, de gevoeligheid

Het menselijk oog is een lichtgevoelig orgaan dat onder verschillende lichtomstandigheden kan functioneren. Twee soorten fotoreceptoren bepalen de ooggevoeligheid onder twee verschillende lichtomstandigheden: respectievelijk de staafjes in lichtarme omgeving en de kegeltjes in lichtrijke omgeving (Coren, Ward, & Enns, 2004). De kegeltjes zijn gevoelig voor golflengtes overeenkomend met de kleuren blauw, groen, en rood, en zorgen ervoor dat mensen bij daglicht kleuren kunnen onderscheiden en scherp kunnen zien. Doordat de kegeltjes zich centraal in het oog bevinden, is kleurwaarneming en scherpteperceptie het sterkst in het centrale gebied van het oog. Gedurende donkere omstandigheden worden de staafjes actief en wordt het oog gevoeliger voor licht in het blauwe en groene spectrum (Coren, Ward, & Enns, 2004). Afgezien van de kleur rood, zijn staafjes bovendien veel gevoeliger voor helderheid in donkere omstandigheden dan kegeltjes, en maken het dus mogelijk dat mensen in het donker goed kunnen zien. Wel verschuift de positie van lichtgevoeligheid uit het centrum van het oog: in tegenstelling tot de kegeltjes, bevinden de staafjes zich namelijk buiten het centrale gebied van het oog. De staafjes spelen dus ook een grote rol bij het perifeer zien, maar ook scherp zien in het donker gaat beter wanneer men zijdelings naar een object kijkt.

Het kost tijd om de gevoeligheid van het oog aan te passen van lichte naar donkere omstandigheden: de donkeradaptatie (Coren, Ward, & Enns, 2004). Bij het verdwijnen van omgevingslicht stijgt de lichtgevoeligheid van kegeltjes zeer snel, waarna het binnen 5-10 minuten stabiliseert op een lichtgevoelighedsniveau dat 100 keer hoger kan zijn dan daarvoor (Coren, Ward, & Enns, 2004). De activatie van staafjes kost meer tijd, maar zorgt wel voor een veel grotere (aanvullende) toename van lichtgevoeligheid. Dit wordt bereikt na 20 minuten, waarna de gevoeligheid nog langzaam toeneemt en stabiliseert na 30-40 minuten (Coren, Ward, & Enns, 2004). Naarmate men ouder wordt kost donkeradaptatie meer tijd en wordt men over het algemeen ook minder lichtgevoelig (Jackson, Owsley, & McGwin Jr., 1999).

2.2. Signal Detection Theory

Deelnemen aan het verkeer kan men zien als grotendeels een visuele zoektaak, met als hoofddoel een veilige weg vinden om van A naar B te gaan. Een visuele zoektaak kenmerkt zich door het zoeken naar een doel (*target*) tussen verschillende afleidingen (*distractors*; zie bijvoorbeeld Verghese, 2001). Op het moment dat er alleen een target is zonder (veel) andere stimuli (*distractors*), is de zoektaak eenvoudig en snel voltooid. Een zoektaak wordt echter moeilijker wanneer er veel afleidingen worden geïntroduceerd, zeker wanneer deze afleidingen visueel ook nog lijken op het doel. Om een signaal dan te kunnen detecteren, is het nodig om dit signaal zoveel mogelijk te laten verschillen van de afleiders. Dit kan men bereiken door visuele eigenschappen

zoals o.a. contrast, kleur, oriëntatie, vorm, formaat, maar ook beweging zoveel mogelijk te laten verschillen van de omgeving, van de afleiders. Hoe meer visuele eigenschappen van de te detecteren stimulus overeenkomen met de afleiders, hoe moeilijker het is om dit 'signaal' te detecteren, en hoe langer de zoektaak zal duren. Op basis van deze theorie zou men dus kunnen zeggen dat, om individuele fietsers goed zichtbaar te maken, zij visueel dus zoveel mogelijk dienen te verschillen van de achtergrond (de afleiders).

Tijdens het fietsen (geldt natuurlijk ook voor autorijden of wandelen) is het belangrijk om zo snel mogelijk andere weggebruikers en/of eventuele gevaren te kunnen detecteren, bijvoorbeeld een fietser die van rechts komt. Eén specifieke fietser zal zeer goed detecteerbaar zijn in een donkere omgeving, wanneer die goed werkende verlichting voert. Verlichting zorgt dan voor een hoog contrast met de achtergrond en met weinig afleiders: die fietser is dus goed te zien. Op het moment dat er echter veel andere weggebruikers zijn (afleiders), zal deze ene fietser veel moeilijker te onderscheiden zijn, al kan de groep als groep weer wel beter gedetecteerd worden. Als deze ene fietser als enige weggebruiker bijvoorbeeld een blauwe of knipperende lamp heeft, of veel sneller beweegt dan alle andere weggebruikers, dan zal deze fietser opnieuw duidelijk zichtbaar en onderscheidbaar zijn. Om een fietser goed zichtbaar te maken, is het dus belangrijk dat het getoonde 'signaal' (in het voorbeeld verlichting) voldoende verschilt van de omgeving. Dit betekent dus ook dat het potentiële succes van een zichtbaarheidsmaatregel afhankelijk is van de omgeving (aanwezigheid van afleiders) waarin het wordt toegepast.

2.3. Zichtbaarheid voertuigen

Al ruim 45 jaar geleden is er door TNO Soesterberg uitgebreid onderzoek gedaan naar perceptie van voorliggende voertuigen op basis van de (rode) achterlichten (Janssen, Michon, & Harvey, 1976). De nabijheid van een voorliggende auto kan afgeleid worden uit de verandering van de waargenomen afstand tussen de twee lichten. De experimenten in die tijd betroffen vooral deze detectie op basis van de twee achterlichten van auto's. Detectie afstand, en daarmee nabijheid, hebben ook een relatie met ongevalskans. Eerdere detectie zal een verbetering opleveren in de zin van een afname van kop-staart botsingen door standaardisering van positie van de achterlichten en training van bestuurders.

Eén relevante conclusie die Janssen et al. (1976) trokken was dat de efficiëntie van de omvang-helderheid combinatie van een (bijvoorbeeld) achterlicht, meer gediend is met omvang dan met helderheid. In gewone bewoording, meer energie stoppen in een puntvormige lichtbron helpt minder dan (met dezelfde energie) de lichtbron wat opblazen in omvang. Dit is tegenwoordig redelijk standaard met een LED in een rond frame met een omvang naar behoefte.

3. Literatuuroverzicht

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste conclusies uit de literatuur omtrent verschillende zichtbaarheidsmaatregelen op de fiets. Omdat er veel verschillende varianten bestaan, ieder weer met eigen nuanceverschillen, worden de gevonden varianten beschreven aan de hand van de oriëntatie van de fietsers waarmee ze zijn onderzocht, namelijk van voren, van achteren, en/of van opzij. Dit komt dan ook overeen met het tegemoetkomen, inhalen, en het kruisen van fietsers. Daarnaast wordt er onderscheid gemaakt tussen actieve (zelf schijnen) en passieve verlichting (reflectie).

De hoofdvariabelen waarmee de effectiviteit van fietsverlichting wordt gemeten zijn over het algemeen detectieafstand (*detection distance*) en herkeningsafstand (*recognition distance*). Daarnaast worden er variabelen gemeten zoals oogbewegingen (fixaties op de fiets), reactietijd (e.g., het indrukken van een knop wanneer een fietser wordt gedetecteerd en/of herkend), en subjectieve beoordelingsmaten van zichtbaarheid.

3.1. De tegemoetkomende fietser (zichtbaarheid van voren)

3.1.1. Verlichting (Actief)

Bhagavathula, Gibbons, Williams, en Connell (2020) hebben drie (deel)onderzoeken uitgevoerd waarin ze de detectieafstand van verschillende verlichtingsvormen hebben vergeleken onder lichte en donkere omstandigheden, bij drie verschillende oriëntaties van fietsers: voor, achter, en opzij (intersectie). Zij concludeerden dat de detectieafstand van tegemoetkomende fietsers bij donkere omstandigheden significant verbeterd kon worden d.m.v. actieve verlichting, bij daglicht vonden ze geen sterke effecten. Een knipperende koplamp met een gematigde knipperfrequentie (3.4Hz) scoorde bij duisternis het best, gevolgd door een continu brandende koplamp met een lage intensiteit (100 lumen), en een langzaam knipperende koplamp (0.9Hz; Bhagavathula et al., 2020). Knipperend licht trekt in de periferie de aandacht beter dan continu brandend licht vanwege de opbouw van het netvlies in het oog (zie paragraaf 2.1). De uitkomsten van Wu en Chen (2019) tonen echter een omgekeerd beeld: bij nachtelijke omstandigheden vonden zij dat tegemoetkomende fietsers met een continu brandende koplamp (centraal i.p.v. perifeer in het gezichtsveld) eerder gedetecteerd en herkend werden door automobilisten dan fietsers met een knipperende koplamp. De proefpersonen zelf dachten echter dat fietsers met knipperende koplampen juist beter zichtbaar waren. Wu en Chen (2019) concludeerden uiteindelijk dat het combineren van een continu brandende koplamp met een reflector voorop het beste functioneerde.

Toet, Beintema, De Vries, Van der Leden en Alferdinck (2008) wijzen erop dat knipperende verlichting verwarrend kan zijn voor andere weggebruikers en ook goede waarneming van koers en snelheid kan verminderen. Bovendien vervult de koplamp van een fiets, naast het gezien worden, ook de belangrijke functie van het 'zelf zien'

gedurende duisternis, zie Kircher en Niska (2021). Kircher en Niska (2021) raden dan ook aan om een continu brandende voorlamp (500 lux) te gebruiken waarbij de straal naar beneden wordt gericht om verblinding van andere weggebruikers te voorkomen. Ondanks dat bovenstaande onderzoeken uitwijzen dat een koplamp bijdraagt aan de detectie van fietsers gedurende de nacht, is het goed om op te merken dit niet per se leidt tot een snellere herkenning van fietsers (Wood et al., 2012). Met andere woorden: andere weggebruikers kunnen door een fietskoplamp in het donker wel sneller detecteren dat er ‘iets of iemand’ is, maar niet eerder vaststellen óf het een fietser is óf dat het een ander type weggebruiker betreft.

3.1.2. Reflectie (Passief)

Andere maatregelen die kunnen bijdragen aan de zichtbaarheid van fietsers hebben betrekking op reflectie en/of kleur. Zo kan er bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van reflecterende oppervlakken, waarvan de standaard reflector waarschijnlijk het meest bekend is. Daarnaast kan reflectie ook worden toegepast op de kleding van een fietser: dit wordt veelal gedaan door middel van (fluorescerend) gekleurde vesten, reflectiestrepen op kleding (veelal zilverkleurig), of een combinatie hiervan: een zgn. retroreflectief vest (in Nederland het meest bekend als een ‘veiligheidsvest’, zie bijvoorbeeld figuur 9). Gedurende daglicht kan het gebruik van fluorescerende gele hesjes ervoor zorgen dat fietsers van voren eerder gedetecteerd worden dan wanneer zij bijvoorbeeld grijze kleding zouden dragen (Rogé, Laurent, Ndiaye, Aillerie, & Vienne, 2019). Fietsers zelf denken echter dat fluorescerend gele kleding ook tijdens duisternis de zichtbaarheid verbetert, terwijl deze kleding in het donker eigenlijk vrijwel niets aan zichtbaarheid toevoegt vanwege het gebrek aan UV-licht (Wood, Lacherez, Marszalek, & King, 2009). Het aanbrengen van reflectiestrepen op fluorescerend gele hesjes kan in potentie wel de zichtbaarheid verbeteren gedurende duisternis, maar fietsers hebben zelf niet het idee dat dit beter werkt dan vesten met alleen een fluorescerend gele kleur (Wood, Tyrrell, Marszalek, & Lacherez, 2013). Wellicht is dit ook niet de meest effectieve maatregel om de zichtbaarheid van voren te verbeteren, want volgens Bhagavathula et al. (2020) resulteerde een vergelijkbaar type retroreflectieve vesten (fluorescerend geel met reflectiestrepen) en *biomotion* banden* aan de benen, zowel overdag als gedurende duisternis, niet in grotere detectieafstanden (eerdere detectie) dan alleen standaard reflectoren. Bovendien scoorden de actieve verlichtingsvormen in isolatie, zoals benoemd in paragraaf 3.1.1, significant beter dan de reflecterende maatregelen. Ook uit het onderzoek van Wu en Chen (2019) komt naar voren dat de combinatie van een reflector en een continu schijnende voorlamp de grootste detectieafstanden mogelijk maakt: ook groter dan bij het gebruik van retroreflectieve strips op bewegende lichaamsdelen van fietsers.

* *Biomotion* banden zijn (reflecterende) banden die aan bewegende lichaamsdelen zoals de benen worden bevestigd, met als gevolg dat beweging van het lichaam waargenomen wordt en duidelijk wordt dat men naar een fietser kijkt.

3.1.3. Conclusie

Ondanks de constatering dat de onderzoeksuitkomsten verschillen, zijn er niet voldoende aanwijzingen dat zichtbaarheidsmaatregelen, anders dan (continu brandende) voorlichten, eventueel met een reflector, bijdragen aan een betere zichtbaarheid voor tegemoetkomende fietsers. Knipperende koplampen zouden overwogen kunnen worden voor detectiedoeleinden overdag, maar gedurende de nacht lijkt dit niet te adviseren. Daarnaast is het belangrijk om te benadrukken dat de koplamp ook bijdraagt aan het 'zelf zien' gedurende de nacht: een knipperende koplamp zal deze functie niet vergemakkelijken. Fluorescerend gele kleding kan bijdragen aan de zichtbaarheid overdag, maar draagt 's nachts niets bij. Reflectie is dan wel mogelijk, maar lijkt voor deze oriëntatie ook niet veel toe te voegen. Alles afwegende lijkt het dus aan te raden om continu verlichting te blijven voeren dat breed, maar niet hoog uitstraalt.

3.2. Het inhalen van een fietser (zichtbaarheid van achteren)

3.2.1. Verlichting (Actief)

Een 'regulier' achterlicht is bijna vanzelfsprekend gemonteerd op de achterkant van een fiets, met uitzondering van verlichting bevestigd op de kleding of helm. Toet et al. (2008) waarschuwen met betrekking tot het laatste voor de nadelen in verband met de vereiste extra zorgvuldigheid, bijvoorbeeld door overhangende kleding en de oriëntatie van het licht. Het achterlicht zal dus ook voornamelijk relevant zijn wanneer een fietser van achteren wordt benaderd, en in afnemende mate vanaf de achterkant naar de zijkant (van 180° naar 90°). Deze oriëntatie van achteren is veelal onderzocht d.m.v. een passeersituatie: dikwijls vanuit het perspectief van een automobilist die een fietser inhaalt. Met het oog op de huidige 'standaard' verlichting is de consensus dat gedurende de nacht, een rood achterlicht beter werkt om fietsers van redelijke, i.e. veilige afstand te kunnen detecteren dan alleen rode en/of amberkleurige reflectoren (Matthews & Boothby, 1980).

Met het oog op modernere verlichtingsvormen, concludeerden Bhagavathula et al. (2020) n.a.v. hun experiment dat zowel overdag als 's nachts er geen significante verschillen waren tussen achter-reflectoren, continu brandende achterlichten, en knipperende achterlichten. Wel scoorden beide (actieve) achterlicht-varianten gedurende duisternis in absolute zin beter dan alleen reflectoren, maar de onderlinge verschillen waren erg klein (i.e. detectieafstanden van respectievelijk 114 & 118 meter). Het is belangrijk op te merken dat dit onderzoek gebruik maakte van autoverlichting met koplampen, en dat dit sterk de zichtbaarheid van reflectoren beïnvloedt. Onderzoeken van Edewaard en collega's vonden echter dat zowel 's nachts als overdag een knipperend achterlicht aan de onderkant van het zadel leidt tot grotere detectieafstanden dan een continu brandend achterlicht (Edewaard, Fekety, Szubski, Tyrell, & Rosopa, 2017; Edewaard, Szubski, Tyrell, & Duchowski, 2019; Edewaard, Fekety, Szubski, & Tyrell, 2020). In het onderzoek van Edewaard et al. (2017) wordt echter geen rood maar wit licht gebruikt. Het is dus de vraag of het resultaat hetzelfde

zou zijn met rood licht. Als aanvulling hierop raden zij ook aan om verlichting aan de enkels te dragen: dit kan namelijk zowel de bewegingen als zijnde van een fietser accentueren, als het zichtbaarheidsoppervlak vergroten. *Biomotion* is volgens de auteurs de reden voor vroege herkenning (Edewaard, Fekety, Szubski, Tyrrell, & Rosopa, 2017; Edewaard, Fekety, Szubski, & Tyrrell, 2020). Tot slot vonden zij geen effecten van lichtintensiteit: alles boven de laagst toegepaste intensiteit (25% van 25 lumen) was in vergelijkbare mate zichtbaar (Edewaard, Fekety, Szubski, & Tyrrell, 2020).

Wanneer verlichting alleen onder het zadel gemonteerd wordt, kan deze afgeschermd worden door bijvoorbeeld bagage of kleding (Raftery & Grigo, 2012). Om die reden is het te overwegen om verlichting te voeren op alternatieve locaties. Black et al. (2020) onderzochten bijvoorbeeld de effecten van reguliere achterlichten en reflectoren (controleconditie) aangevuld met lampen in de handvatten (1), een lampje achterop een fietshelm (2), of retroreflectieve strips op de benen (3). Op basis van een experiment op de weg vonden zij dat alle condities met aanvullende zichtbaarheidsmaatregelen resulteerden in een grotere (en dus veiliger) inhaalafstand van (jonge) automobilisten, vergeleken met alleen een achterlicht en reflector zonder aanvullende verlichting. Er zijn geen verschillen gevonden tussen de typen aanvullende zichtbaarheidsmaatregelen (Black et al., 2020). Edewaard et al. (2020) hebben ook het effect van verlichting achter in of op een fietshelm op de herkenbaarheid van fietsers onderzocht, maar dan bij daglicht. Deze plaats van de verlichting scoorde daarbij niet significant anders dan een reguliere lamp onder het zadel.

3.2.2. Reflectie (Passief)

Met betrekking tot reflectie geldt dat de fiets een rode reflector (niet driehoekig) op de achterkant van de fiets moet hebben, gele reflectoren op de trappers, en witte of gele reflectoren op de wielen (velgen) of banden. Edewaard, Detweiler, en Booth (n.d.) hebben middels een eye-tracking computer detectietaak onderzocht of bij daglicht een fietser sneller gedetecteerd wordt wanneer deze kleding met een bepaalde kleur draagt: zwart, fel geel, of fel blauw. Zij vonden dat met name fietsers die een fel geel hesje droegen als opvallender werden beoordeeld dan fietsers die de andere kleuren kleding droegen (Edewaard, Detweiler, & Booth, n.d.). In een onderzoek in een rijnsimulator, vonden Rogé, Laurent, Ndiaye, Aillerie, en Vienne (2019) dat gele kleding op het bovenlichaam van een fietser een positief effect had op de detectieafstand van fietsers gedurende lichte omstandigheden, vergeleken met grijze kleding. Als kanttekening benoemden de onderzoekers echter dat de gele kleding alleen bijdroeg in situaties waarin fietsers al goed zichtbaar waren, waardoor de toegevoegde waarde volgens hen beperkt is. Omdat deze onderzoeken echter computertaken betreffen, zijn deze bevindingen mogelijk minder goed generaliseerbaar naar de dagelijkse praktijk. Dit blijkt inderdaad zo te zijn: in een later experiment met echte fietsers bleek dat alleen het dragen van een fluorescerend geel vest niet veel toevoegt aan de herkenbaarheid van fietsers gedurende daglicht (Edewaard, Fekety, Szubski, & Tyrrell, 2020). Wanneer een dergelijk vest echter gecombineerd wordt met fluorescerend gele

beenbedekking, met of zonder ruitjespatroon, worden fietsers overdag wel eerder als zodanig herkend. Dit effect lijkt dus vooral toe te schrijven aan de beenbedekking (Edewaard, Fekety, Szubski, & Tyrrell, 2020).

Op basis van een veldexperiment in het donker vonden Costa et al. (2017) dat reflecterende tape op het frame en de zadelpen van een fiets of een fluorescerend oranje hesje met twee horizontale reflectiestrepen beide significant kunnen bijdragen aan de zichtbaarheid in het donker. Beide maatregelen leverden namelijk een significant hogere detectieafstand op (respectievelijk 168m en 140m) dan standaard reflectoren of geen enkele vorm van verlichting of reflectie (respectievelijk 68m en 36m). Wood et al. (2010) vonden dat het dragen van een fluorescerend geel vest in het donker niet leidt tot grotere herkenningsafstanden dan het dragen van zwarte kleding. Wel werden significant meer fietsers herkend wanneer zij reflectiestrepen toevoegden aan het fluorescerend gele vest. Hoewel Bhagavathula et al. (2020) ook concludeerden dat een soortgelijk retroreflectief vest (met reflectiestrepen) relatief goed werkt gedurende de nacht, bleek de zichtbaarheid echter niet significant verbeterd en nagenoeg gelijk aan het voeren van een continu brandend of knipperend achterlicht. Hetzelfde geldt voor overdag: ook daar resulteerde het gebruik van hetzelfde retroreflectieve vest in de hoogste absolute detectieafstanden, maar de vergelijking met andere maatregelen, zoals standaard reflectoren en continu brandende of knipperende achterlampen, bleek niet significant verschillend.

Abdur, Aya, Teppei, en Hisashi (2020) hebben, middels een computertaak, de zichtbaarheid onderzocht van witte of gele reflectiestrepen op de achterband van een fiets, al dan niet gecombineerd met verschillende kleuren van de achterbanden (zwart, rood, of blauw) bij verschillende lichtomstandigheden. Zij concludeerden dat een rode achterband met witte reflectiestrepen leidde tot de grootste detectieafstand. Echter kwamen deze verschillen met name naar voren bij daglicht: naarmate er minder licht was, worden de verschillen tussen varianten kleiner. Bij schemer en donkere omstandigheden zijn de verschillen tussen rode of zwarte achterbanden met reflectiestrepen nihil. De zichtbaarheidsverbetering lijkt dus vooral voort te komen uit de bewegende reflectiestrepen, en minder uit de kleur van de band. Omdat dit een computertaak betreft is het echter de vraag hoe deze bevindingen zich vertalen naar de praktijk, zeker in Nederland, waar veel fietspaden ook een rode kleur hebben.

Wanneer er specifiek naar *biomotion* signalen wordt gekeken gedurende daglicht, bleek uit het onderzoek van Edewaard et al. (2020) dat continu brandende achterlampen aan de enkels zorgden voor betere detectie dan alleen het gebruik van een achterlamp. Bhagavathula et al. (2020) vonden echter iets anders, namelijk dat het dragen van alleen reflectiebanden aan de polsen en enkels resulteerden in gemiddeld de laagste detectieafstanden. Gecombineerd met een retroreflectief vest, scoorden de *biomotion* banden relatief hoog, maar dit lijkt dus vooral toe te schrijven aan het reflectievest. Zoals eerder beschreven, was dit echter niet significant verschillend van andere vormen van voorlampen. Bij donkere omstandigheden bleek ook dat het

gebruik van alleen *biomotion* bands het minst goed presteerde van alle maatregelen (Bhagavathula, Gibbons, Williams, & Connell, 2020).

3.2.3. Conclusie

Ten eerste kan geconcludeerd worden dat de plaatsing van verlichting aan de achterkant van een fiets belangrijk is: plaatsing van het achterlicht direct onder het zadel gaat bijvoorbeeld gepaard met kans op overhangende kleding. Wat het type verlichting betreft voldoet een continue brandend ‘standaard’ rood achterlicht, al zijn er aanwijzingen dat knipperende lichtsignalen wellicht beter kunnen werken voor detectie. Dit zorgt echter mogelijk ook voor verwarring, en het is de vraag of dat wenselijk is. Het zichtoppervlak vergroten door middel van het plaatsen van extra lampen op de handvatten, helm, en/of op de pedalen kan detectie ook verbeteren. Fluorescerende hesjes kunnen in beperkte mate bijdragen aan de zichtbaarheid van fietsers overdag, maar *biomotion* elementen doen dit sterker. In het donker heeft een opvallende, bijvoorbeeld gele kleur geen zin, hier helpen reflectiestrepen op kleding en/of de fiets mogelijk wel. *Biomotion* verlichting draagt niet zozeer bij aan detectie, maar kan wel bijdragen aan herkenning dat het om een fietser gaat (hetzelfde als bij het voorlicht). Ook hiervoor geldt dat een standaard achterlicht al vrij goed werkt voor detectie, maar aangepaste verlichting, die zorgt voor oppervlakte-vergroting en/of *biomotion* markering, kan de herkenning als zijnde een fietser wel verbeteren.

3.3. Het kruisen van een fietser (zichtbaarheid van opzij)

3.3.1. Verlichting (Actief)

Bhagavathula et al. (2020) hebben meerdere deelonderzoeken uitgevoerd naar verlichtingsvarianten om fietsers vanaf de zijkant beter zichtbaar te maken. Eerst vroegen zij participanten in een auto op een afgesloten circuit om aan te geven wanneer zij een fietser van rechts hadden gedetecteerd, gedurende donkere omstandigheden. De bewuste fiets was uitgerust met een koplamp of één van twee verschillende varianten van wielverlichting. Geteste wielverlichtingsvarianten waren respectievelijk Monkey Light® en SpokeLit® (zie figuur 4). De resultaten wijzen uit dat er geen verschillen waren tussen de detectieafstanden van de verschillende lampvarianten, maar ze scoorden wel allemaal beter dan passieve verlichting (reflectoren) of geen verlichting. Bij een vervolgonderzoek scoorden deze actieve varianten ook allemaal gelijk, maar bleek een retroreflectief vest wel beter te werken. In een laatste onderzoek, in het echte verkeer, leidde het gebruik van spaakverlichting overdag absoluut gezien tot de grootste detectieafstanden, echter was dit niet significant groter dan een ‘medium’ intensiteit continu brandende koplamp, een snel knipperende koplamp, of zelfs standaard reflectoren. Wel scoorden al deze vormen van actieve verlichting beter dan *biomotion* reflectoren op de polsen en nabij de enkels. In het donker vonden de onderzoekers geen significante verschillen: in absolute zin waren de continu brandende koplampen gerelateerd aan de grootste detectieafstanden (Bhagavathula, Gibbons, Williams, & Connell, 2020).

Fekety (2018) onderzocht de zichtbaarheidseffecten van vier verschillende samenstellingen van zes LEDs gemonteerd op de fiets en/of op de fietser, in het donker. Deze condities werden vergeleken met een controleconditie (geen enkele vorm van verlichting) en een 'legale' conditie (alleen reflectoren op het stuur, onder het zadel, in de pedalen, en in de wielen: de wettelijke minimumeis in de VS). De LED condities bestonden uit (1) LEDs op het frame (contour van fietsframe zichtbaar), (2) LEDs op het bovenlichaam van de fietser (op de helm, schouder, elleboog, polsen, en rug), (3) LEDs op het onderlichaam van de fietser (op de heupen, knieën, en enkels), en (4) LEDs in de spaken (drie LEDs per wiel, evenredig verdeeld). Een computertaak, waarin participanten een fietser detecteerden op basis van videobeelden in het donker vanuit een auto, en een subjectieve beoordelingstaak, waarbij participanten vanuit een auto een echte fietser op een afgesloten terrein moesten detecteren, wezen uit dat detectie en herkenning significant verbeterd werden door de LED verlichting in het wiel. Bestuurders van een auto hadden dus baat bij deze wijze van zichtbaarheid, herkenning was significant verbeterd in de nacht bij kruisingen van wegen. Alle andere condities scoorden iets beter of vergelijkbaar met de 'legale' (wettelijke) conditie. De enige uitzondering was de controleconditie zonder enige vorm van verlichting, deze scoorde structureel het slechtst (Fekety, 2018).

3.3.2. Reflectie (passief)

Zoals beschreven in paragraaf 3.3.1 resulteerden reflectoren in significant lagere detectieafstanden van kruisende fietsers dan actieve verlichting voorop de fiets of in de wielen (Bhagavathula, Gibbons, Williams, & Connell, 2020). Waarschijnlijk komt dit omdat reflectoren afhankelijk zijn van actieve belichting door andere bronnen, en kunnen kruisende fietsers nog te ver weg zijn om bijvoorbeeld het licht van autokoplampen op te vangen en te reflecteren. Op het gebied van fluorescerende vesten, al dan niet gecombineerd met reflectiestrepen en reflectoren op de polsen en enkels (*biomotion*), vonden Wood et al. (2010) geen verschillen tussen het herkennen van fietsers van achteren en van opzij. Gedurende nachtelijke omstandigheden hebben alleen fluorescerend gekleurde vesten geen toegevoegde waarde. Reflectiestrepen op deze vesten verhogen wel significant de hoeveelheid herkende fietsers, met als meest succesvolle variant het retroreflectieve vest aangevuld met enkel- en kniereflectoren (Wood et al., 2010). Dit werd ook gevonden tijdens een tweede onderzoek van Bhagavathula et al. (2020): hierbij bleek dat een retroreflectief vest grotere detectieafstanden opleverde dan voorlampen, achterlampen, spaakverlichting, en/of *biomotion* reflectoren, die onderling allemaal vergelijkbaar functioneerden. Opvallend genoeg bleek echter dat in een naturalistische verkeerssituatie, retroreflectieve *biomotion* banden bij de minst goed presterende maatregelen behoorde zowel bij daglicht als gedurende de nacht (Bhagavathula, Gibbons, Williams, & Connell, 2020).

3.3.3. Conclusie

In principe zijn goede koplampen de meest effectieve manier om de zichtbaarheid van kruisende fietsers te benadrukken. Dit is ook niet heel verwonderlijk, aangezien een fietser die van links of rechts komt ook grotendeels van voren wordt gezien, zeker

wanneer diegene verder weg fietst. Verlichting of reflectie in de wielen en/of op lichaamsdelen (*biomotion*) kunnen dan ook in deze oriëntatie voornamelijk bijdragen aan herkenning van fietsers, en niet zozeer aan detectie. De onderzoeksresultaten zijn hier echter niet eenduidig, en het meest ‘naturalistische onderzoek’ laat de minst sterke effecten zien van *biomotion*. Opvallend is wel dat retroreflectieve vesten ook goed werken voor de zichtbaarheid van kruisende fietsers, mogelijk komt dit door het grotere oppervlak wat dan zichtbaar wordt van veraf. Het lijkt dus vooral belangrijk om goede ‘standaard’ verlichting te hebben, wat aangevuld kan worden met herkenningselementen door beweging. Tot slot is het belangrijk op te merken dat bij geen van de gevonden onderzoeken de zichtbaarheid van volledig opzij is onderzocht. Dit betekent dat de bevindingen mogelijk beperkt generaliseerbaar zijn voor het moment dat een kruisende fietser zich recht voor een auto bevindt, bijvoorbeeld. Wel zou op basis van de onderzoeksuitkomsten beredeneerd kunnen worden dat het nuttig is om een fiet slamp ook vanaf de zijkant zichtbaar te laten zijn. Op deze manier behoudt de verlichting zijn functie op het moment dat de fietser volledig van opzij wordt gedetecteerd.

3.4. Alternatieve vormen van verlichting

Er zijn inmiddels ook fietsverlichtingssystemen in opkomst die aanvullende functies hebben bovenop het zichtbaar maken van de fietser en/of de omgeving. Zo hebben Dancu et al. (2015) een systeem onderzocht waarmee een navigatiekaart op de fiets getoond kan worden middels een Head Up Display (HUD) op het stuur of middels projectie op de weg voor de fietser. Een vergelijking van deze twee systemen wees uit dat de 12 participanten het HUD navigatiescherm op de fiets prefereerden boven de projector op de weg. Zij gaven namelijk aan dat de HUD het mogelijk maakte om meer aandacht te besteden aan de route, een beter zicht te hebben op de omgeving, en dat het veiliger en eenvoudiger te gebruiken was. Een projectie is bijvoorbeeld onderhevig aan de aard van en veranderingen in het oppervlak van de weg, waardoor de geprojecteerde afbeelding verstoord en onduidelijk kan worden. Het enige punt waarop de geprojecteerde kaart beter scoorde dan de HUD, was dat men dit systeem leuker vond om te gebruiken dan de HUD (Dancu et al., 2015).

Een tweede systeem dat Dancu et al. (2015) testten betrof een richtingaanwijzer die middels het projecteren van pijlen op de weg (naast de fiets) aangaf welke kant de fietser op wilde gaan. Dit systeem werd getriggerd door het uitsteken van de arm door de fietser zelf. Dit projectiesysteem werd vergeleken met een commercieel verkrijgbaar knipperlichtsysteem voor op de fiets, bedienbaar met knopjes aan het stuur, en een projectie van een ‘veiligheidszone’ (*safety envelope*) rondom de fiets. Het idee achter deze veiligheidszone is dat het zichtbaar maakt hoeveel ruimte er nodig is voor de fietser om te kunnen stoppen zodat andere weggebruikers hierdoor voldoende afstand houden. Omdat de remweg groter wordt bij hogere snelheden, wordt ook het geprojecteerde gebied groter naarmate de fietser sneller fietst (Dancu et al., 2015). De resultaten van een online survey waarin deze systemen getoond werden, wijzen erop dat andere weggebruikers het richting aangeven via projectie wel duidelijker vinden,

maar ook minder goed zichtbaar dan via ‘reguliere’ LED knipperlichten op de fiets. Fietsers vonden zelf tijdens een experiment dat het projectiesysteem op basis van handgebaren eenvoudiger te gebruiken was en het mogelijk maakte om meer aandacht te besteden aan het verkeer. De auteurs noemen geen concrete effecten van de veiligheidszone, maar wel dat het een nuttige manier kan zijn om de aanwezigheid van een voertuig te benadrukken (Dancu et al., 2015).

Een nadeel van het richting aangeven middels het projectiesysteem is dat men de hand uit dient te steken om het signaal te activeren, maar dit is niet per se anders dan wanneer men geen systeem zou gebruiken en alleen de hand uit zou steken. Bediening middels een knopje zou dan de voorkeur hebben. Dit komt overeen met de bevindingen van Westerhuis, Engbers, Dubbeldam, Rietman, en De Waard (2021), die een knipperlicht als onderdeel van een Bicycle Light Communication System hebben onderzocht. Voornamelijk gericht op oudere fietsers, vonden zij dat een knipperlicht met bediening aan het stuur gewenst kan zijn omdat het dan niet meer nodig is om de arm uit te steken en de fiets tijdelijk met één hand te besturen. Ondanks dat er geen effecten gevonden werden op de ervaren balans van gezonde oudere fietsers, gaven zij wel aan het knipperlicht een nuttige manier van richting aangeven te vinden: het is een intuïtief signaal dat al jaren bekend is van andere voertuigen. Hetzelfde bleek voor een remlicht te gelden: zowel oudere als jongere fietsers vonden dit een duidelijk signaal om extra informatie te geven over de snelheid van een fietser. Concrete effecten op fietsgedrag (i.e., volgafstand) zijn echter niet gevonden.

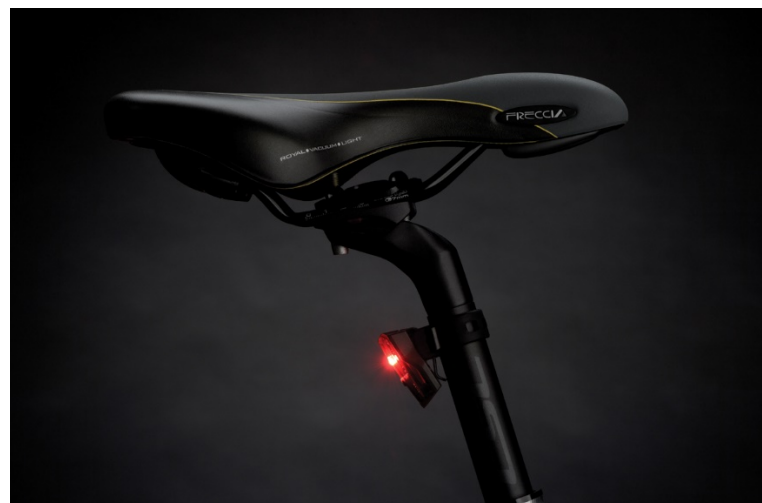
3.5. Zien en gezien worden: uitgebreide samenvatting en discussie

Zien en gezien worden is voor elke verkeersdeelnemer van groot belang met het oog op de veiligheid, van zichzelf en van de medeverkeersdeelnemers. Het huidige rapport gaat over fietsen en daarom voornamelijk over gezien worden. Alleen bij donker is het van belang dat de fiets voorzien is van afdoende licht om de weg voor de fiets voldoende zichtbaar te maken en goed te kunnen zien. Gezien worden, zichtbaarheid, of wellicht beter opvallendheid, is afhankelijk van actieve verlichting en van passieve opvallendheid zoals reflecterende onderdelen van/op de fiets en/of de fietser alsmede opvallende kleuren.

Tussen zonsondergang en zonsopgang, en overdag wanneer het zicht in ernstige mate belemmerd is (niet gespecificeerd in de Nederlandse wet), moet een fietser licht voeren: continu brandend, één voorlicht wit of geel (of ergens daar tussenin) en één rood achterlicht. Het licht moet bij voorkeur vast aan de fiets bevestigd zijn, of eventueel gedragen worden op de borst (voorlicht) of de rug (achterlicht). De laatstgenoemde wijze van lichtvoeren is in zekere mate riskant met het oog op goede, continue zichtbaarheid. Er kan kleding voor gaan hangen en de fietser moet rechtop blijven zitten, wat bij harde wind vaak niet het geval is. Een goede ontwikkeling is de uitrusting van de verlichting met een sensor die de lichten automatisch aan laat gaan wanneer het (dag)licht beneden een bepaald niveau komt, zoals in tunnels en bij slecht, donker weer.

Er zijn geen normen met betrekking tot de hoeveelheid licht die de twee lampen moeten of mogen verspreiden. Alleen is bepaald dat de verlichting andere weggebruikers niet mag verblinden, hetgeen evenmin gespecificeerd is. In Duitsland is daar wel een norm voor, maximaal 2 lux op 10 meter afstand. De koplamp is ook bedoeld om zelf de weg te kunnen zien, moet daarom dus ook naar beneden gericht zijn, en mag niet recht naar voren schijnen om verblinding te voorkomen. Meer actieve verlichting op de fiets, zoals lampjes aan het wiel of de spaken, is niet toegestaan. Dit soort extra verlichting voegt ook weinig toe voor de herkenning van een fietser. Knipperende verlichting is onwenselijk omdat deze verwarrend kan zijn en negatief werkt voor het zelf kunnen zien. Knipperende verlichting is dan ook niet toegestaan (m.u.v. eventuele richtingaanwijzers).

Met het licht van de koplamp moet de weg voldoende zichtbaar gemaakt worden en moet de fiets(er) zelf ook goed zichtbaar zijn. Behoorlijk licht en een redelijk brede bundel die een groot deel de straat voor de fiets verlicht is derhalve wenselijk. Tegelijkertijd blijft de eerder genoemde verblinding van tegenliggers de aandacht vragen. Echter, als de bundel rechtuit schijnt is de weg wel goed te zien, maar worden tegenliggers mogelijk toch verblind. Smalle felle bundels zijn daarom ongewenst, ook omdat brede bundels van opzij veel beter zichtbaar zijn.



Figuur 2: Voorbeelden van voorlicht (linker afbeelding: Axa Blueline 30-T; Axa Bike Security, n.d.) en achterlicht (rechter afbeelding: Axa Greenline Rear 1 LED; Axa Bike Security, n.d.) die tevens van opzij goed zichtbaar zijn.

Reflectie van aanstralend licht is een andere manier om de opvallendheid, dat wil zeggen de herkenning van een fietser als zodanig te vergroten, zij het in mindere mate dan actieve verlichting. Reflecterend materiaal op de kleding, de eventuele helm en de fiets, kan effectief zijn en is eenvoudig permanent aan te brengen. In het donker kan retroreflectieve kleding ook werken, volgens sommige onderzoeken vergelijkbaar met gewone verlichting, dus samen zeker, terwijl kleurige (geel, wit) kleding dan veel minder effectief is. Bij daglicht is dat eerder andersom, waarbij *biomotion*, dus bewegende benen en armen bedekt met felle, hoog contrasterende kleuren, positief bijdraagt. Retroreflectief materiaal aan/op de fiets blijkt eveneens effectief bij daglicht

en duisternis, met name materiaal bevestigd aan bewegende delen zoals de pedalen of crank.

Uit onderzoek blijkt verder dat de zelfperceptie van opvallendheid bij fietsers laag is, veel fietsers denken dat ze altijd onder alle omstandigheden even goed zichtbaar zijn. Dat blijkt ook uit hun gedrag, zoals het hoge percentage fietsers laat zien dat bij donker fietst zonder licht (ongeveer een derde). Wat bij donkere omstandigheden, bij slecht zicht, ook een rol speelt is de zogenaamde cognitieve (on)opvallendheid oftewel, wijkt je gedrag opvallend af. Met andere woorden, voldoet je gedrag wel aan de verwachtingen van de andere verkeersdeelnemers, val je niet uit de toon. De boodschap is dan: afwijkend gedrag is riskant, dus gedraag je "normaal", i.e. volgens de regels, dan loop je minder risico. Verwacht moet worden dat ook leeftijd een rol speelt bij detectie en herkenning. Naarmate men ouder wordt neemt de snelheid en accuraatheid van detectie en herkenning af.

Het dragen van opvallende felle kleuren, met name van geel tot oranje, soms rood of geruit, draagt ook bij aan de opvallendheid van fietsers. Dat is vooral het geval overdag, bij helder daglicht, dan werkt het beter dan retroreflectieve kleding. Naarmate het donkerder wordt verdwijnt dat effect en wordt retroreflectiviteit effectiever in het donker. Dat heeft ook al geleid tot het dragen van gele tot oranje vestjes, vaak met retroreflectieve strepen, door fietsers in het dagelijks verkeer.

Opvallend veel literatuur over de opvallendheid (“*conspicuity*”) van fietsers is gebaseerd op Amerikaans onderzoek, ongetwijfeld vanwege de relatief grote hoeveelheid (ernstige) ongevallen met fietsers in het Amerikaanse, door auto’s gedomineerde verkeer. Er wordt in die literatuur regelmatig geadviseerd meerdere lichten aan te brengen op de fiets en aan de fietser zoals lichtjes aan de pedalen of op de hiel (schoen): *biomotion*. Als er maar één licht op de fiets zit, maak het dan knipperend (“*flashing*”), vooral bij daglicht, is het advies in de VS. Zoals eerder vermeld, de Nederlandse wetgeving laat dit niet toe, en knipperende verlichting is in Nederland met zijn hoge fietsgebruik niet wenselijk.

Tamelijk veel onderzoek is gedaan naar detectie en herkenning van fietsers, van videobeelden, in simulatoren, op afgesloten terreinen maar ook in het verkeer. Men gebruikt vaak subjectieve maten maar ook wat meer robuuste maten als reactietijd van detectie en oogbewegingen. Opvallendheid van het materiaal (kleurige en reflecterende kleding en fiets) werkt buiten de stad beter dan in de stad, waarover een grote data-survey (zie Green, 2021) zelfs een negatief beeld geeft: meer ongevalsbetrokkenheid. Maar het betreffende artikel laat in het midden wie er in de groepen van de survey vergeleken worden.

4. Voorbeelden van nieuwe en bestaande systemen

Door de ontwikkeling van LED verlichting zijn de mogelijkheden voor fietsverlichting de laatste jaren enorm toegenomen. Het kleine formaat, de energiezuinigheid, en de mogelijkheid om het gehele kleurenspectrum te gebruiken zorgt ervoor dat LED verlichting op vele mogelijke manieren toegepast kan worden, ook op de fiets. Daarnaast zijn de functies die toegekend kunnen worden aan dergelijke verlichtingssystemen ook heel uitgebreid met behulp van draadloze smartphone technologie. In dit hoofdstuk wordt een niet uitputtende lijst met voorbeelden van nieuwe verlichtingssystemen beschreven die op dit moment in Nederland verkocht worden. De mogelijke effecten van dergelijke systemen zullen beschreven worden aan de hand van de vragen in hoofdstuk 5.

4.1. Actief (verlichting)

4.1.1. Verlichting op een helm: Lumos Fietshelm

De Lumos helm is een fietshelm met ingebouwde Ledlampen (Lumos Helmet, 2021). Er zijn verschillende varianten beschikbaar, maar allemaal delen ze het hoofddoel om de fietser van alle kanten beter zichtbaar te maken. Het topmodel, de “Kickstart” variant, bevat één Ledlamp aan de voorzijde en drie Ledlampen aan achterzijde: links, in het midden, en rechts (zie figuur 3). Naast het functioneren als ‘reguliere verlichting’, kunnen de lampen aan de voor- en achterzijde gebruikt worden als richtingaanwijzer middels een afstandsbediening of via armbewegingen met een Smart Watch. Ook schakelt de helm automatisch een remlicht en/of alarmlicht in op het moment dat er hard geremd wordt. Tot slot hebben sommige helmvarianten de mogelijkheid om “*custom blinking patterns*” aan te maken (Lumos Helmet, 2021).



Figuur 3: De Lumos "Kickstart" fietshelm (Lumos Helmet, 2021).

4.1.2. LED Verlichting in het wiel

Ook verlichting van het wiel is mogelijk gemaakt door LED verlichting. Kleine lampjes kunnen op de spaken of het ventiel worden gemonteerd om gedeeltelijk of het hele wiel te accentueren. Een voorbeeld hiervan zijn Monkey Lights® (zie figuur 4; Monkey Lights, 2020). Sommige webshops noemen veiligheid en zichtbaarheid als belangrijke reden voor het voeren van deze verlichting. De verlichting is veelal gericht op kinderen en verkrijgbaar in verschillende, vaak felle kleuren. Daarnaast wordt de suggestie

gegeven om “meerdere sets te combineren voor een gaaf effect”. Verschillende kleuren en patronen tezamen kunnen echter wel willekeurige nieuwe signalen opleveren die andere weggebruikers kunnen verwarren (zie vraag 1 in Hoofdstuk 5).



Figuur 4: Voorbeelden van wielverlichting, afbeelding links en midden: Monkey Lights® (Monkey Lights, 2020), afbeelding rechts: SpokeLit® (Nite Ize, 2021).

4.1.3. Belichten van de weg: Laser LED

Een ander relatief nieuw type verlichting maakt niet alleen gebruik van LED, maar ook van laser verlichting. Naast een relatief standaard vormgegeven achterlicht, bevatten deze systemen één of meerdere laserstralen die ieder een ruimte naast en/of achter de fiets accentueren. Het idee is om andere weggebruikers te attenderen op de benodigde ruimte of veiligheidszone van een fietser, om zo afstand houden te bevorderen. Een voorbeeld hiervan is de Batavus V-Light (figuur 5, linker afbeelding), waarbij de fabrikant claimt dat andere weggebruikers de V-vorm als een object zien, en geneigd zijn deze te ontwijken (Batavus, 2021). Een andere variant is de Lezyne Laser Drive Rear welke een recht gebied achter de fiets accentueert middels twee laserstrepen (Lezyne, 2021).



Figuur 5: Batavus V-Light (Batavus, 2021; linker foto) en Lezyne Laser Drive Rear (Lezyne, 2021; rechter foto).

4.1.4. Verlichting op de fietser: LED Veiligheidsbanden

LED Veiligheidsbanden kunnen in principe overal gedragen of gemonteerd worden, maar zijn m.n. ontworpen om te dragen aan de armen en/of aan de benen. Het idee erachter is om menselijke bewegingen te accentueren (*biomotion*) en hiermee detectie

en herkenning in het donker te versnellen. Hoewel dit vaak als oplossing voor (hard)lopers wordt aangeboden, wordt het ook steeds vaker (mede) als zichtbaarheidsmaatregel op de fiets in de markt gezet.



Figuur 6: LED Veiligheidsbanden (merkloos: [link](#))

4.1.5. Belichten van de fietser: Ziemi

In 2020 is de fietsverlichting Ziemi ontwikkeld (Ziemi, n.d.). Dit type verlichting heeft als doel om de bewegingen van fietsers te accentueren door de benen actief te belichten vanaf de voorzijde. De lamp bestaat uit een H-vormig verlichtingselement dat wordt gemonteerd aan een framebuis onder het stuur. Aan de buitenzijden van het element zitten twee LED lampjes: ieder om één been van de fietser te verlichten (zie figuur 7). De oriëntatie van de lamp is verstelbaar en bovenop de LED lampjes zit een kapje om naar boven schijnen te voorkomen. Volgens de makers draagt het zowel bij aan detectie en herkenning van fietsers door respectievelijk het verlichte oppervlak te vergroten en de fietsbewegingen (*biomotion*) te accentueren.



Figuur 7: “Ziemi” fietsverlichting (Ziemi, n.d.).

4.2. Passief (reflectie)

4.2.1. Reflecterende banden voor armen en/of benen

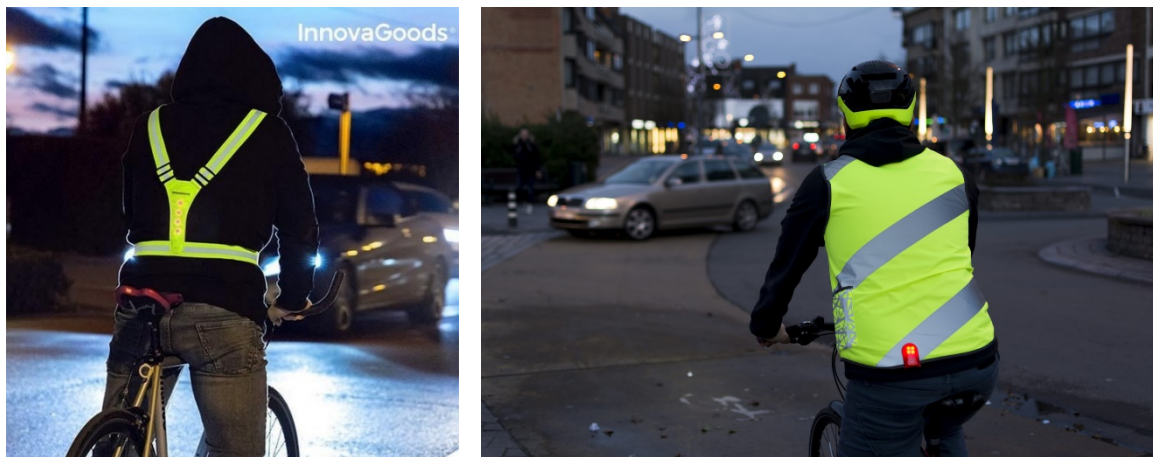
Hoewel reflecterende banden ook veelal worden verkocht onder de noemer ‘hardloopbanden’, is het uiteraard ook mogelijk om deze te dragen op de fiets. In principe komt de functie nagenoeg overeen met de LED-veiligheidsbanden, met als voornaamste verschil dat de reflectiebanden alleen oplichten wanneer ze beschenen worden door verlichting van een andere bron (figuur 8).



Figuur 8: Reflecterende banden voor armen en/of benen (Doodadeals: [link](#) en merkloos: [link](#)).

4.2.2. Veiligheidsvest / Reflectievest

Ondanks dat ook voor het veiligheids- of reflectievest geldt dat sommige varianten verkocht worden onder de noemer “hardloopvest”, wordt in de beschrijving regelmatig genoemd dat het geschikt is voor fietsers, inclusief een afbeelding met een fietser die het draagt. Dit type kleding komt in grote lijnen overeen met het eerder genoemde ‘retroreflectieve vest’, en is goed te dragen op de fiets. Er zijn verschillende varianten te vinden, uiteenlopend van het toevoegen van enkele reflecterende strepen over de bestaande kleding met een beperkte hoeveelheid van de fluorescerende kleur eromheen (figuur 9, linker foto; Innovagoods, 2018), tot volledige bedekkende hesjes met reflectiestrepen (figuur 9, rechter foto; WOWOW Reflective Wear, 2021). Door sommige fabrikanten wordt ook LED-verlichting toegevoegd op het hesje.



Figuur 9: Twee verschillende versies van fluorescerende en reflecterende kleding. De linker afbeelding is een Reflective Running Vest, waarop evt. ook ledverlichting wordt gevoerd (Innovagoods, 2018). De rechter afbeelding komt grotendeels overeen met het eerdergenoemde ‘retroreflectieve vest’ (WOWOW Reflective Wear, 2021).

4.2.3. Spaakreflectoren

Een laatste voorbeeld betreft het gebruik van spaakreflectoren. Met behulp van kleine buisvormige reflectoren kan (een deel van) de spaken worden opgelicht wanneer deze beschenen worden door externe verlichting. Afhankelijk van de montage en

hoeveelheid gemonteerde reflectoren zal het getoonde effect kunnen verschillen (zie onderstaande figuur 10).



Figuur 10: Een voorbeeld van spaakreflectoren van het merk DutchiQ ([link](#)).

5. Antwoorden op vragen

In dit hoofdstuk worden bondig de aangedragen vragen vanuit Rijkswaterstaat beantwoord aan de hand van de inzichten uit de literatuur.

1. *Kan fietsverlichting verbeterd worden door het wiel te voorzien van lichten die andere weggebruikers kunnen zien draaien zoals LED lampjes, ventiellichtjes, of spaak reflectie sticks?*

Fietsverlichting in het wiel kan ervoor zorgen dat fietsers van opzij eerder als ‘fietsers’ herkend worden d.m.v. het expliciet belichten van de beweging van een fietswiel. Het draagt echter niet bij aan de detectieafstand: er is geen onomstotelijk bewijs gevonden dat wielverlichting leidt tot eerdere detectie dan reguliere verlichting, mits deze verlichting ook een beetje naar opzij schijnt. Bovendien is het belangrijk dat, als men dit type verlichting toepast, dit met mate gebeurt: het lijkt voldoende wanneer met een simpel lichtje de draaibeweging vanaf de zijkant kenbaar wordt gemaakt. Spaarzaamheid zorgt in dit opzicht ervoor dat, met name wanneer meerdere fietsen dergelijke verlichting gaan gebruiken, de mate van afleiding van andere weggebruikers niet (te)veel zal toenemen. Eén fiets met wielverlichting zal zeker opvallen, maar op het moment dat er veel meer zijn (bijvoorbeeld groepen) kunnen deze als afleiders overkomen. De wijze van marketing is ook een punt van aandacht: bij sommige webshops wordt dergelijke verlichting in verschillende kleuren aangeboden, soms met als tip om kleuren te combineren voor een ‘leuk’ effect. Dit is sterk af te raden, omdat dit niet herkenbaar is en waarschijnlijk zeer afleidend zal werken voor andere weggebruikers, zeker als grotere groepen fietsers dit gaan toepassen, en er veel onherkenbare signalen kunnen ontstaan door willekeurige combinaties van lichtkleuren en patronen. Bij reflectie in het wiel is dit minder het geval, met als voordeel dat het alleen zichtbaar is als het wiel beschenen wordt door (kop)lampen van andere weggebruikers. Dit kan echter ook een nadeel zijn voor zichtbaarheid, omdat de afstand tot dat andere voertuig dan al kleiner is dan bij actieve verlichting.

2. *Kan fietsverlichting verbeterd worden door ook de berijder aan te lichten zoals Ziemi?*

Dit type verlichting is een variant op ‘biomotion’ verlichting, wat volgens de literatuur voornamelijk bijdraagt aan herkenning, en niet zozeer aan detectie. Dit specifieke type verlichting vergroot door het beschijnen van de fietser ook het zichtoppervlak, waardoor zij mogelijk van een grotere afstand zichtbaar worden, bijvoorbeeld ook in autospiegels. Of dit type verlichting daadwerkelijk bijdraagt aan eerdere detectie is moeilijk te voorspellen, omdat een regulier voorlicht vroege detectie ook al mogelijk maakt. Hoewel de ontwikkelaars wel een kapje bovenop de verlichting hebben geplaatst, blijft er een kans op verblinding van andere weggebruikers, omdat de fietsers zelf de oriëntatie kunnen afstellen. De witte verlichting schijnt naar achteren en, indien die lamp zichtbaar is, zou dit witte licht voor verwarring kunnen zorgen in plaats van voor betere herkenning. Daarnaast is de effectiviteit afhankelijk van de kleding die een

fietser draagt: met een zwarte broek zal de verlichting een fietser aanzienlijk minder zichtbaar maken dan met een lichtblauwe broek, bijvoorbeeld.

3. Kan fietsverlichting verbeterd worden door de fietsverlichting te laten knipperen?

Er zijn aanwijzingen dat knipperende verlichting kan bijdragen aan een betere zichtbaarheid van fietsers, maar de resultaten uit de literatuur zijn niet eenduidig. Omdat verlichting aan de voorkant van de fiets ook essentieel is voor het eigen zicht van de fietser, is een knipperende voorlamp niet aan te raden. Voor het achterlicht wijzen sommige studies erop dat een knipperend exemplaar beter zichtbaar is dan continue verlichting, maar tegelijkertijd zijn er ook bevindingen dat een continue schijnende achterlamp net zo goed werkt. Bovendien is de zichtbaarheid van een enkele knipperende lamp onderzocht, waaruit blijkt dat het niet onwaarschijnlijk is dat knipperende verlichting van een groep fietsers minder positief uitpakt. Knipperende lichtsignalen kunnen ook leiden tot verwarring van andere weggebruikers en daarom is het, alles afwegende, niet aan te raden om knipperende verlichting te gebruiken op de fiets.

4. Kan fietsverlichting verbeterd worden door deze met licht- of donkerdetectie, richtingaanwijzer en wegmarkeringen met lasers en remlichtfunctie uit te rusten?

Over licht- donkerdetectie systemen is niet gepubliceerd, onderzoek is in ieder geval niet naar voren gekomen in de literatuurstudie. Daarover kunnen geen uitspraken gedaan worden. Een richtingaanwijzer echter, bijvoorbeeld op het stuur of in een helm, kan positief uitpakken voor de gebruiker (bijvoorbeeld voor de balans: het uitsteken van de arm is niet meer nodig). Daarnaast zou dit hulpmiddel goed te interpreteren moeten zijn door andere weggebruikers vanwege de bekendheid met dergelijke signalen van andere voertuigen. Enige terughoudendheid met het aanbieden van 'signalen' op de fiets is wel aan te raden, want sommige systemen worden ook aangeboden met functies als 'aanpasbare knipperpatronen'. Als veel fietsers hun eigen patronen gaan aanmaken, kan dit afleidend en verwarrend zijn voor andere weggebruikers. Hierom is het wenselijk om, als men dit soort signalen zou aanbieden, deze signalen zoveel mogelijk overeen te laten komen met die van andere voertuigen. Effecten op zichtbaarheid zijn echter niet onderzocht. De zichtbaarheidseffecten van laser wegmarkeringen geprojecteerd vanaf een fiets zijn ook nog niet bekend. Een remlicht kan gewenst en effectief zijn om het remgedrag van fietsers zichtbaar te maken, wederom op een manier die andere weggebruikers al kennen. Het is echter nog niet bekend wat de effecten hiervan zullen zijn wanneer deze op grote schaal op de fiets gebruikt gaan worden.

5. *In hoeverre wordt de effectiviteit van fietsverlichting beïnvloed door deze op kleding of ook op een fietshelm toe te staan?*

Door fietsverlichting bijvoorbeeld op kleding of een helm te dragen kan het zichtoppervlak worden vergroot, maar dit lijkt relatief weinig toe te voegen aan detectie van fietsers in vergelijking met de meer gebruikelijke verlichtingsvormen. Als verlichting op een helm gedragen wordt, zal dit de kans op obstructie door overhangende kleding of andere weggebruikers wel verminderen. Een nadeel is echter dat de stand van het hoofd niet constant is, en het is onbekend wat bijvoorbeeld een gewijzigde hoofdpositie voor effecten heeft op de waarneming. Als de fietser het hoofd draait verandert het patroon wat mogelijk tot verwarring leidt. Daarnaast is verlichting op dit moment te verkrijgen in vele verschillende kleuren: uniformiteit en eenvoud is daarbij te adviseren. Verlichting bevestigd aan lichaamsdelen kan leiden tot snellere herkenning o.b.v. *biomotion*, maar voor dat doel is reflectie ook geschikt. Als voor verlichting gekozen wordt dan is het aan te raden om fietsers te adviseren over waar ze deze het best kunnen bevestigen: bij voorkeur aan het onderbeen of net boven de enkels.

6. *Is het gunstig voor de verkeersveiligheid als fietsers overdag fietsverlichting voeren?*

Deze literatuurstudie is grotendeels beperkt is tot effecten van fietsverlichting en reflectie op zichtbaarheid bij duisternis. Er zijn er aanwijzingen dat verlichting ook overdag kan bijdragen aan de detectie van fietsers. Ook hier zijn de verschillen met 'reguliere verlichting' klein, maar er zijn er aanwijzingen dat fluorescerende (gele) hesjes ervoor kunnen zorgen dat met name fietsers van achteren en van opzij op grotere afstand gedetecteerd kunnen worden. Van achteren kunnen *biomotion* markeringen aan de benen in combinatie met dergelijke hesjes ook bijdragen aan herkenning. Hoewel een betere zichtbaarheid niet per definitie samengaat met minder ongevallen, hebben Madsen et al. (2013) in een experiment met bijna 4000 fietsers in Denemarken (Odense) gevonden dat fietsers met permanente verlichting 19% minder vaak bij ongevallen betrokken waren, vergeleken met fietsers die deze verlichting niet voerden.

7. *Heeft extra reflectie, bijvoorbeeld door de fiets volledig te voorzien van een reflecterende coating of reflecterende strips, voordelen?*

Reflecterende strips op een fiets kunnen bijdragen aan de zichtbaarheid ervan. Het volledig voorzien van een fiets met een reflecterende laag lijkt niet nodig, maar onderzoeken naar reflecterende strips achterop een fiets hebben wel laten zien dat dit de detectieafstand van achteren kan vergroten t.o.v. reguliere reflectoren. Daarnaast kan een veiligheidsvest of reflectievest het zichtoppervlak vergroten evenals dat *biomotion* herkenning kan verbeteren. Dit vereist echter van de fietser wel een extra handeling, en er zijn ook effecten bekend dat dit een gevoel van overschatting van de zichtbaarheid bij fietsers zelf kan geven. Belangrijk zal ook hierbij zijn dat deze vorm

van reflectie op de juiste plaats gemonteerd wordt. Concrete resultaten van spaakreflectoren zijn niet gevonden, maar o.b.v. de resultaten omtrent spaakverlichting zou beredeneerd kunnen worden dat spaakreflectoren de herkenbaarheid van de zijkant kunnen verhogen. Hoewel deze van voren en van achteren niet duidelijk zichtbaar zullen zijn, kan dit mogelijk een positief effect hebben op het type aanrijding dat het meest voorkomt, namelijk in de flank. Echter, er zijn weinig gedetailleerde onderzoeksgegevens over zichtbaarheid van fietsers van opzij. Dit is ook een dynamisch proces: de fiets nadert van links of rechts tot het moment dat de fietser voor de auto is. De locaties en omstandigheden waar ze aangereden worden bij duisternis zijn nog niet duidelijk: dat kan zijn bij oversteek vanuit stilstand, bij onoverzichtelijke kruisingen, bij het rijden door rood licht, etc. Maar verhoogde flank-zichtbaarheid zal naar verwachting in ieder geval geen negatieve effecten hebben. Tot slot zal naar verwachting bij reflectie minder visuele ‘clutter’ optreden dan bij actieve verlichting, ook in groepen, omdat de meest dichtbij zijnde fietser het licht blokkeert naar andere fietsers. Daarnaast bieden reflectoren ook minder opties op het gebied van kleuren(verschillen) en knipperpatronen.

8. Kan een tweede achterlicht de zichtbaarheid van fietsers met één achterwiel vergroten?

Het gebruiken van een extra achterlicht, bijvoorbeeld op een helm, in de handvatten, of op de pedalen, kan het zichtoppervlak vergroten (zie punt 5). De hoeveelheid toegestane lampen op een fiets heeft waarschijnlijk te maken met herkenning van het type weggebruiker: het voeren van twee achterlichten kan wijzen op een voertuig met meerdere achterwielen. Als een fiets bijvoorbeeld twee voorwielen heeft (driewieler), zijn twee koplampen zelfs vereist volgens de Nederlandse wet.

6. Conclusie en discussie

Alles afwegende is niet consistent aangetoond dat de meeste nieuw ontwikkelde verlichting of reflecterende kleding significant bijdragen aan een snellere of eerdere detectie van fietsers, *mits* deze fietsers al de huidige wettelijk verplichte verlichting voeren. Ondanks dat individuele verlichtings- en/of reflectiemethoden effectief kunnen zijn in de zin van vroegere detectie, zijn deze methoden veelal niet effectiever dan het voeren van een continu brandende, ook breed zichtbare, kop- of achterlamp. Er zijn wel enkele uitzonderingen: zo kan een knipperend achterlicht wellicht eerdere detectie mogelijk maken, maar dit weegt niet op tegen de verwarring die dit tegelijkertijd kan veroorzaken. Gezien de ongevallenstatistieken lijkt het nuttig om de zichtbaarheid van de zijkant te verbeteren, ook overdag. Hoewel voorlampen kunnen bijdragen, kan de zichtbaarheid en/of herkenbaarheid overdag wellicht effectiever benadrukt worden d.m.v. het dragen van retroreflectief vest (veiligheidsvest), eventueel gecombineerd met *biomotion* methoden. Dit laatste zal voornamelijk bijdragen aan herkenning, en niet zozeer aan (vroeg) detectie van fietsers. Voor donkere omstandigheden is het wellicht al voldoende om een lamp te hebben die ook deels naar de zijkant schijnt. Om ongevallen te voorkomen is het echter de vraag wat het grootste effect op veiligheid heeft: is een vroege detectie voldoende om fietsers op tijd op te merken, of is herkenning als fiets ook noodzakelijk en draagt herkenning bij om een ongeval te voorkomen?

Referenties

- Abdur, R., Aya, K., Teppe, K., & Hisashi, K. (2020). A mechanism to enhance bicycle conspicuity and visibility and increase detection distances: New insights into bicycle safety. *IATSS Research*, 45(2), 241-250. doi:10.1016/j.iatssr.2020.09.006
- Axa Bike Security. (n.d.). *AXA Blueline 30-T Steady Auto*. Opgeroepen op Oktober 7, 2021, van <https://www.axasecurity.com/bike-security/nl-nl/producten/verlichting/7/93951795SB/axa-blueline-30-t-steady-auto>
- Axa Bike Security. (n.d.). *AXA Greenline Rear 1 Led*. Opgeroepen op Oktober 7, 2021, van <https://www.axasecurity.com/bike-security/nl-nl/producten/verlichting/7/93938695CB/axa-greenline-rear-1-led>
- Batavus. (2021). *Veilig weer thuis met Batavus V-Light*. Opgeroepen op September 30, 2021, van <https://www.batavus.nl/v-light>
- Bhagavathula, R., Gibbons, R. B., Williams, B., & Connell, C. (2020). *Bicycle Visibility: Conspicuity of Bicycle Headlamps, Tail Lamps, and Retroreflective Garments in Nighttime Roadway Environments*. National Surface Transportation Safety Center for Excellence. Blacksburg, Virginia: Virginia Tech Transportation Institute.
- Black, A. A., Duff, R., Hutchinson, M., Ng, I., Phillips, K., Rose, K., . . . Wood, J. M. (2020). Effects of night-time bicycling visibility aids on vehicle passing distance. *Accident Analysis and Prevention*, 144, 105636. doi:10.1016/j.aap/2020.105635
- Coren, S., Ward, L. M., & Enns, J. T. (2004). *Sensation and Perception (Sixth Edition)*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Costa, M., Bonetti, L., Bellelli, M., Lantieri, C., Vignali, V., & Simone, A. (2017). Reflective Tape Applied to Bicycle Frame and Conspicuity Enhancement at Night. *Human Factors*, 59(3), 485-500. doi:10.1177/0018720816677145
- Dancu, A., Vechev, V., Ünlüer, A. A., Nilson, S., Nygren, O., Eliasson, S., . . . Fjeld, M. (2015). Gesture Bike: Examining Projection Surfaces and Turn Signal Systems for Urban Cycling. *ITS'15, November 15-18, 2015, Funchal, Portugal* (pp. 1-9). ACM. doi:10.1145/2817721.281774
- Edewaard, D. E., Fekety, D. K., Szubski, E. C., & Tyrrell, R. A. (2020). Highlighting Bicyclist Biological Motion Enhances Their Conspicuity in Daylight. *Accident Analysis and Prevention*, 142, 105575. doi:10.1016/j.aap.2020.105575
- Edewaard, D. E., Fekety, D. K., Szubski, E. C., Tyrrell, R. A., & Rosopa, P. J. (2017). The Conspicuity Benefits of Dynamic and Static Bicycle Taillights at Night.

Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 2017 Annual Meeting, (pp. 1567-1568). Rome.

Edewaard, D. E., Szubski, E. C., Tyrell, R. A., & Duchowski, A. T. (2019). The Conspicuity Benefits of Bicycle Taillights in Daylight. *Proceedings of the Tenth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, 24-27 June 2019, Santa Fe, New Mexico* (pp. 370-376). Iowa City, IA: Public Policy Center of Iowa.

Edewaard, D., Detweiler, R., & Booth, C. (n.d.). *The Quantification of Bicyclist Conspicuity Using Eye-Tracking Technology*. Opgehaald van <http://andrewd.ces.clemson.edu/courses/cpsc412/fall16/teams/reports/group6.pdf>

Fekety, D. K. (2018). *Using Motion Perception to Improve the Nighttime Conspicuity of Bicyclists at Street Crossings*. Clemson University. Tigerprints.

Green, M. (2021). *Bicycle Conspicuity Aids: Do They Work?* Opgeroepen op Augustus 11, 2021, van <https://www.visualexpert.com/Resources/conspicuityaids.html>

Innovagoods. (2018). *InnovaGoods LED Reflective Running Vest*. Opgeroepen op Oktober 7, 2021, van <https://www.innovagoods.com/en/product/innovagoods-led-reflective-running-vest/>

Jackson, G. L., Owsley, C., & McGwin Jr., G. (1999). Ageing and dark adaptation. *Vision Research*, 39, 3975-3982.

Janssen, W., Michon, J., & Harvey, L. (1976). The perception of lead vehicle movement in darkness. *Accident Analysis and Prevention*, 8, 151-166.

Kircher, K., & Niska, A. (2021). Testing of bicycle lighting: Method development and evaluation. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 10, 100349. doi:10.1016/j.trip.2021.100349

Kuiken, M., & Stoop, J. (2012). *Verbetering van fietsverlichting: verkenning van beleidsmogelijkheden*. Delft: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Lezyne. (2021). *Lezyne Laser Driver Rear*. Opgeroepen op September 30, 2021, van <https://ride.lezyne.com/products/1-led-23r-v104>

Lumos Helmet. (2021). Opgeroepen op September 29, 2021, van www.lumoshelmet.co

Madsen, J., Andersen, T., & Lahrman, H. (2013). Safety effects of permanent running lights for bicycles: A controlled experiment. *Accident Analysis and Prevention*, 50, 820-829. doi:10.1016/j.aap.2012.07.006

- Matthews, M. L., & Boothby, R. D. (1980). Visibility of Cyclists at Night: Laboratory Evaluation of Three Rear Warning Devices. *Proceedings of the Human Factors Society - 24th Annual Meeting - 1980*, (pp. 129-133).
- Monkey Lights. (2020). *Be seen with our bicycle wheel lights*. Opgeroepen op September 30, 2021, van <https://www.monkeylectric.com/>
- Nite Ize. (2021). *Spokelit® Wheel Light*. Opgeroepen op November 5, 2021, van <https://www.niteize.com/product/SpokeLit.asp>
- Raftery, S., & Grigo, J. (2012). A pilot study of cyclist conspicuity. *Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference 2012 4 - 6 October 2012, Wellington, New Zealand*, 1-13.
- Rijksoverheid. (n.d.). *Wat zijn de Regels Voor Fietsverlichting en Reflectie Op een Fiets?* Opgeroepen op November 8, 2021, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/fiets/vraag-en-antwoord/wat-zijn-de-regels-voor-fietsverlichting-en-reflectie-op-een-fiets>
- Rogé, J., Laurent, S., Ndiaye, D., Aillerie, I., & Vienne, F. (2019). Does a yellow jacket enhance cyclists' sensory conspicuity for car drivers during daylight hours in an urban environment? *Safety Science*, 119, 385-391. doi:10.1016/j.ssci.2018.06.023
- Schepers, P., Nägele, R., & Mak, P. (2019). *Mogelijkheden verbetering campagne fietsverlichting. Evaluatie op basis van monitoringsonderzoek en literatuur*. Rijkswaterstaat, WVL. Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/12/04/evaluatie-fietsverlichtingscampagne-ik-val-op>
- SWOV. (2021). *BRON (Bestand geRegistreerde Ongevallen in Nederland): Draaitabel*. Opgeroepen op September 9, 2021, van Verkeersveiligheidscijfers: verkeersongevallen: <https://www.swov.nl/feitenencijfers/verkeersveiligheidscijfers-verkeersongevallen>
- Toet, A., Beintema, J., de Vries, S., van der Leden, N., & Alferdinck, J. (2008). *Vergelijking van fietsverlichtingsvormen*. Soesterberg: TNO Defensie en Veiligheid.
- Vergheze, P. (2001). Visual Search and Attention: A Signal Detection Theory Approach. *Neuron*, 31, 523-525.
- Westerhuis, F., Engbers, C., Dubbeldam, R., Rietman, H., & De Waard, D. (2021). Enlightening cyclists: an evaluation study of a bicycle light communication system aimed to support older cyclists in traffic interactions. *International*

Journal of Human Factors and Ergonomics, 8(3), 294-317.
doi:10.1504/IJHFE.2021.10040965

- Wood, J. M., Lacherez, P. F., Marszalek, R. P., & King, M. J. (2009). Drivers' and cyclists' experiences of sharing the road: Incidents, attitudes and perceptions of visibility. *Accident Analysis and Prevention*, 41, 772-776. doi:10.1016/j.aap.2009.03.014
- Wood, J. M., Tyrell, R. A., Marszalek, R., Lacherez, P., Carberry, T., & Sun Chu, B. (2012). Using reflective clothing to enhance the conspicuity of bicyclists at night. *Accident Analysis and Prevention*, 45, 726-730. doi:10.1016/j.aap/2011.09.038
- Wood, J. M., Tyrrell, R. A., Marszalek, R., & Lacherez, P. (2013). Bicyclists overestimate their own night-time conspicuity and underestimate the benefits of retroreflective markers on the moveable joints. *Accident Analysis and Prevention*, 55, 48-53. doi:10.1016/j.aap.2013.02.033
- Wood, J. M., Tyrrell, R., Marszalek, R., Lacherez, P., Carberry, T., Chu, B., & King, M. (2010). Cyclist visibility at night: Perceptions of visibility do not necessarily match reality. *Journal of the Australasian College of Road Safety*, 56-60.
- WOWOW Reflective Wear. (2021). *Roadie Jacket*. Opgeroepen op Oktober 7, 2021, van WOWOW Europe BV: <https://www.wowow.be/products/details/roadie/>
- Wu, C., & Chen, D. (2019). The Difference in Night Visibility between Shared Bikes and Private Bikes during Night Cycling with Different Visibility Aids. *Sustainability*, 11, 7035. doi:10.3390/su11270345
- Ziemi. (n.d.). *Ziemi | Hét fietslampje dat veilig fietsen mogelijk maakt!* Opgeroepen op September 29, 2021, van <https://ziemi.nl/>