

TNO-rapport**TNO 2015 R11577 | Eindrapport****Inventarisatie achtergrondschilden****Earth, Life & Social Sciences**Kampweg 5
3769 DE Soesterberg
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

www.tno.nl

T +31 88 866 15 00

F +31 34 635 39 77

Datum	28 december 2015
Auteur(s)	dr.ir. R.A. van Buuren; ing. J.W.A.M. Alferdinck
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	15 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving Chantal Merx en Arjan Schaareman
Projectnaam	RWS afwegingskader achtergrondschilden
Projectnummer	060.19513

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande 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 opdrachten 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.

© 2016 TNO

Samenvatting

Rijkswaterstaat (RWS) wil graag eenheid en harmonie aanbrengen in de intern gebruikte voorschriften en afspraken voor het toepassen van achtergrondschilden en witte bordranden op informatiedragers langs de weg. RWS heeft TNO gevraagd om vanuit haar expertise te komen met een analyse op basis van literatuur die als onderbouwing kan dienen voor het toepassen van achtergrondschilden en witte bordranden.

De vraagstelling van RWS was als volgt:

1. Welke onderzoeken zijn door TNO in het verleden gedaan naar de noodzaak en vormgeving van achtergrondschilden? Te denken valt aan: grootte, positionering op portaal, noodzaak/grootte witte bies, wel/niet retroreflectie, etc.
2. In hoeverre zijn de uitkomsten van deze onderzoeken nog relevant voor de huidige situatie (waarbij o.a. LED-signaalgevers worden gebruikt)? Wat is de verwachting van TNO voor de toekomst?
3. Welke kennis ontbreekt om vraag 2 te kunnen beantwoorden?

In dit TNO-rapport wordt vraag 1 beantwoord. Hierbij zijn de relevante TNO-onderzoeken betreffende achtergrondschilden geïnterpreteerd. Een ander TNO-rapport (TNO 2015 R11704) behandelt de antwoorden op de vragen 2 en 3.

Summary

Rijkswaterstaat (RWS) wants to harmonize its internal specifications for background shields and white edges used on information carriers along the road. RWS has asked TNO to build up, from its expertise, an analysis of existing literature that will act as a motivation for using background shields and white edges.

RWS has asked the following from TNO:

1. What research has been carried out by TNO on the necessity and design of background shields? This includes size, location, dimensions of the white edge, retro-reflection, etc.
2. Are the outcomes of this research still relevant in the current situation (e.g. where LED lights are in use)? What does TNO expect for the future?
3. What knowledge is missing for an answer to question 2?

In this TNO report question 1 is answered. The relevant TNO-studies on background shields are inventoried. In another TNO-report (TNO 2015 R11704) the questions 2 and 3 are answered.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
	Summary	3
1	Inleiding	5
2	Funcies van achtergrondschilden	6
2.1	Vermindering invloed strooilicht.....	6
2.2	Verbetering opvallendheid	6
2.3	Functie van de witte bies	6
2.4	Typen verkeersbord/licht	7
3	Analyse van gevonden literatuur	8
3.1	Korte samenvatting per publicatie	8
3.2	Overall analyse TNO-publicaties	12
4	Literatuur	14

1 Inleiding

Rijkswaterstaat (RWS) wil graag eenheid en harmonie aanbrengen in de intern gebruikte voorschriften en afspraken voor het toepassen van achtergrondschilden en witte bordranden op informatiedragers langs de weg. Op dit moment zijn er diverse voorschriften en afspraken, waarvan de herkomst en wetenschappelijke motivatie echter niet altijd duidelijk is. RWS heeft TNO gevraagd om vanuit haar expertise te komen met een analyse op basis van literatuur die als onderbouwing kan dienen voor het toepassen van achtergrondschilden en witte bordranden.

De vraagstelling van RWS was als volgt:

1. Welke onderzoeken zijn door TNO in het verleden gedaan naar de noodzaak en vormgeving van achtergrondschilden? Te denken valt aan: grootte, positionering op portaal, noodzaak/grootte witte bies, wel/niet retroreflectie, etc.
2. In hoeverre zijn de uitkomsten van deze onderzoeken nog relevant voor de huidige situatie (waarbij o.a. LED-signaalgevers worden gebruikt)? Wat is de verwachting van TNO voor de toekomst?
3. Welke kennis ontbreekt om vraag 2 te kunnen beantwoorden?

In dit rapport behandelen we vraag 1. Het TNO-rapport TNO 2015 R11704 behandelt de antwoorden op de vragen 2 en 3 (van Buuren & Alferdinck, 2015).

2 Functies van achtergrondschilden

In dit hoofdstuk komen de verschillende functies van de achtergrondschilden aan de orde.

2.1 Vermindering invloed strooilicht

Als er zich felle lichtbronnen in de buurt van de blikrichting van de weggebruiker bevinden, kan er verblinding optreden waarbij de weggebruiker de omgeving minder goed kan waarnemen. Door de lichtbronnen ontstaat strooilicht in het oog van de weggebruiker waardoor er een lichtsluier komt te liggen over de waar te nemen scène. Hierdoor worden de contrasten in de scène lager en zullen objecten in de scène niet of minder goed gezien worden. Deze vorm van verblinding wordt maskerende verblinding genoemd, of in het Engels *disability glare* (CIE, 2002). Deze maskerende verblinding neemt toe als het lichtniveau van de lichtbron toeneemt en de hoek tussen de blikrichting en richting van de lichtbron (verblindingshoek) afneemt.

Daarnaast is de leeftijd van de waarnemer van invloed: oudere waarnemers hebben meer last deze verblinding dan jongere waarnemers. Deze verblinding treedt ook op als grotere vlakken in de buurt van het waar te nemen object een hogere luminantie hebben dan het object zelf. Een voorbeeld hiervan is een verkeerssignalering tegen een heldere hemel als achtergrond. Als het achtergrondschild een bredere rand heeft dan zal de maskerende verblinding afnemen omdat de verblindingshoek toeneemt. Hierdoor zal het contrast van de opschriften van de verkeerssignalering hoger zijn en daardoor zijn deze op grotere afstand beter leesbaar. Ook bij verkeerslichten zal de toepassing van een achtergrondschild leiden tot beperking van de invloed van de maskerende verblinding, zodat de kleursignalen goed waarneembaar zijn.

2.2 Verbetering opvallendheid

In een omgeving met veel visuele structuren (*visual clutter*) zijn kleine objecten vaak onopvallend. Denk hierbij aan een klein verkeersbord in de bebouwde kom waar ook veel gebouwen en reclame-uitingen aanwezig zijn. Als een object wordt voorzien van een bredere rand die een andere kleur heeft dan de directe omgeving dan zal dit object opvallender worden en dus sneller worden opgemerkt door de weggebruikers (Walraven & Blokland, 1982a). Een voorbeeld hiervan zijn verkeerslichten die dankzij de brede rand sneller worden opgemerkt in een visueel drukke omgeving.

2.3 Functie van de witte bias

Als een verkeerslicht is voorzien van een zwart achtergrondschild met een witte bias aan de rand van het schild dan zal het opvallend zijn tegen zowel een donkere achtergrond als tegen een lichte achtergrond. Dit geldt ook voor andere verkeersobjecten als verkeersborden en bewegwijzeringsborden. Daarnaast wordt bij verkeersborden een witte bias toegepast om ze beter zichtbaar te maken voor kleurenblinden (Alferdinck et al., 2013). Vooral voor de zogenaamde *protanopen* die vrijwel geen rood kunnen waarnemen vallen verkeersborden met een rode rand voor een groot deel weg tegen een donkere achtergrond. Een witte

bies aan de buitenkant van de rode rand geeft voor deze kleurenblinden een betere zichtbaarheid van de vorm en de buitenmaten van het bord.

2.4 Typen verkeersbord/licht

Rijkswaterstaat heeft aangegeven dat de in dit rapport opgenomen resultaten zullen worden toegepast op de volgende categorieën verkeerstekens:

- verkeerlichten en bruglichten
- matrixsignaalgevers onder bewegwijzering, solitair of bij tijdelijke/mobiele rijstrooksignalering, of in tunnels
- verkeersborden
- hectometerborden
- kantelwalspanelen

3 Analyse van gevonden literatuur

3.1 Korte samenvatting per publicatie

Tenzij anders vermeld was de opdrachtgever Rijkswaterstaat of het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (later Infrastructuur en Milieu).

3.1.1 *De Boer, J.B., Burghout, F., van Dorp, J.C., van der Hoff, J., van der Kolk, J., Moerman, J.J.B., Rutgers, G.A.W., Schreuder, D.A., Standaar, A.W., & Walraven, P.L. (1973). Verkeerslichten - Toelichting op de norm NEN 3322, uitgave december 1972. Elektrotechniek, 51, (12), 611-633.*

- opdrachtgever: n.v.t.
- P.L. Walraven was medewerker van TNO-IZF en richtinggevend auteur van de publicatie
- De publicatie is, zoals de titel ook aangeeft, een toelichting op de NEN 3322 (NNI, 1972) norm voor verkeerslichten en is door het Nederlands Normalisatie-instituut gepubliceerd als ook de Nederlandse Praktijkrichtlijn NPR 3323 (NNI, 1973).
- Achtergrondschilden zijn een middel om de zichtbaarheid van het verkeerslicht te vergroten en dat geldt in het bijzonder bij een heldere achtergrond of een achtergrond die veel verwarrende lichten. Er wordt gezegd: "Experimenteel werd door het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO onderzocht welke grootte van achtergrondschild optimaal was. Het bleek dat de winst in zichtbaarheid bij vergroting van het schild blijft toenemen. De zichtbaarheid is echter reeds 90% van het maximaal bereikbare bij een breedte van driemaal de middellijn van de lens." Deze afmetingen van achtergrondschilden zijn in de NEN 3322 (NNI, 1972) opgenomen. Vooralsnog is geen TNO-rapport of –publicatie gevonden waar dit experimenteel onderzoek is beschreven.
- Het aanbrengen van witte biezen om het achtergrondschild wordt gemotiveerd met de daarmee betere opvallendheid van de verkeerslichtinstallatie.

3.1.2 *Lotens, W.A. (1975). Beoordeling van een ontwerp voor een rood kruis volgens de norm NEN 3322 in twee typen matrix lichtbakken. TNO rapport: IZF 1975-C3. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.*

- Laboratoriumonderzoek aan twee typen matrix lichtbak
- Citaat: "Aan de lichtbakken dient volgens de norm een achtergrondschild te worden toegevoegd dat overal tenminste 30 cm buiten het kruis uitsteekt". Aangezien de norm NEN 3322 alleen het achtergrondschild voor verkeerslichten definieert, en hiervoor een relatieve randbreedte van 1,0 voorschrijft, interpreteren we de "tenminste 30 cm" als "relatieve randbreedte 1,0".

3.1.3 *Lotens, W.A. (1977). Achtergrondschilden voor matrix lichtbakken. TNO rapport: IZF 1977-C6. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.*

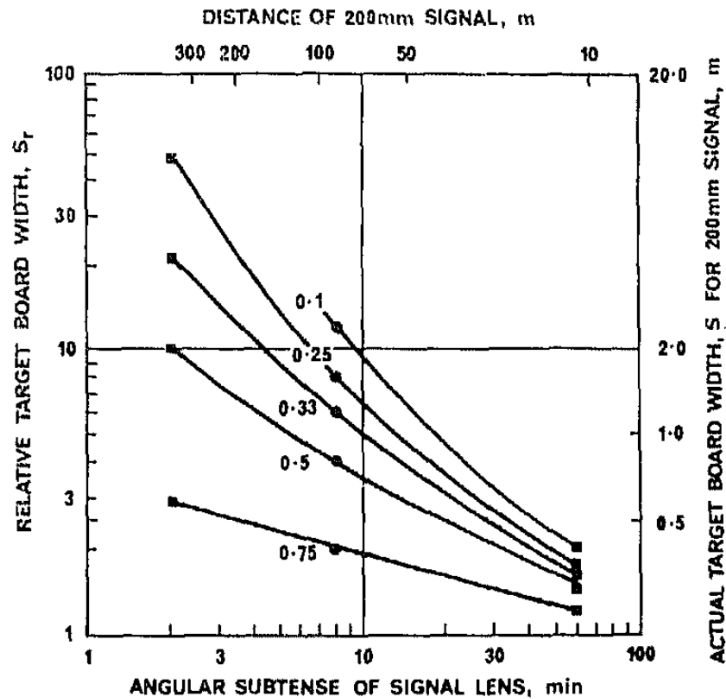
- Experimenteel onderzoek
- Grootte achtergrondschild
 - tussen 0,4 en 1,7 maal letterhoogte tekst
 - boven 1,1 nauwelijks verbetering
- Lichtsterkte per matrixpunt
 - overdag: 20 cd voldoet, 40 cd zou optimaal zijn

- 's nachts dimmen tot 0,3 cd
- 3.1.4 *Varkevisser, J. (1977). Het tram/bus licht "negenoo" een poging tot ordening (TNO-rapport IZF 1977 C-19). Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.*
- Beveelt op basis van Lotens (1977) aan om de randbreedte van het achtergrondschild te vergroten van 0,4 naar ten minste 0,7 maal de breedte van het negenoo.
- 3.1.5 *Norren, D. van (1981). INFORMATIEDRAGERS LANGS DE WEG: een overzicht van zichtbaarheidsproblemen. TNO rapport: IZF 1981 C-25. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.*
- noemt 3 categorieën achtergrondschild:
 - verkeerslichten: relatieve randbreedte 1,0 (gelijk aan diameter licht)
 - "negenoo" (tram- en bus-verkeerslicht): relatieve randbreedte 0,7
 - matrix-lichtbak: relatieve randbreedte 1,1
- 3.1.6 *Walraven, J. en Blokland, N.H. (1982b). De bijdrage van achtergrondschilden en zwart-wit geblokte masten tot de opvallendheid van verkeerslicht-installaties. TNO rapport: IZF 1982 C-22. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.*
- Experimenteel onderzoek
 - Achtergrondschilden verhogen de opvallendheid met een factor 2
 - Zwart-wit geblokte masten dragen weinig (zonder achtergrondschild) of niets (i.c.m. achtergrondschild) bij
 - noemt NEN 3322 (NNI, 1972) waar de achtergrondschilden worden voorgeschreven voor verkeerslichten.
- 3.1.7 *Martens, M.H., Meijer, L., en Horst, A.R.A. van der (2000). Ontwerp AKI-boom als functie van boomlengte en wegbreedte: De workshop. TNO memo: TNO-TM 2000-M041. TNO Technische Menskunde, Soesterberg.*
- Opdrachtgever: NS Railinfrabeheer
 - Workshop-verslag
 - Voor achtergrondschilden op overwegen wordt aanbevolen om de aparte schilden rond elk van de 2 rode knipperlampen te verbinden zodat een groter schild ontstaat en daarmee een rustiger beeld. Er wordt hiervan geen effect op de opvallendheid verwacht.
- 3.1.8 *NNI (2000). Nederlandse norm NEN 3322 (nl) Verkeersregelinstallaties – Verkeerslantaarns – Aanvullende eisen. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.*
- Voor verkeerslichten met lenzen met 200 resp. 300 mm middellijn wordt een achtergrondschild met een randbreedte van 200 resp. 300 mm voorgeschreven.
 - Het achtergrondschild moet worden voorzien van een witte bies van 30 resp. 50 mm.
- 3.1.9 *Alferdinck, J.W.A.M. (2001). Specificaties van een universele signaalgever. TNO rapport: TM-01-C045. TNO Technische Menskunde, Soesterberg.*
- Laboratorium- en praktijkonderzoek aan verkeerssignalering met matrixborden
 - Leidt uit literatuurgegevens af wat de grootte van het achtergrondschild moet zijn: visuele hoek van 0,14 °. Dit komt voor de geadviseerde afmetingen van het matrixbord (1,5 × 1,7 m, h × b) neer op 50 cm randbreedte, gerekend vanaf de rand van het display oppervlak. Er wordt een beeldvlak van 150 cm x 170 cm aanbevolen.

- 3.1.10 *Toet, A., en Varkevisser, J. (2001). De visuele opvallendheid van knipperlichten op overweginstallaties. TNO rapport: TM-01-C013. TNO Technische Menskunde, Soesterberg.*
- Opdrachtgever: Railned Spoorwegveiligheid
 - Praktijkonderzoek aan AHOB-overwegen:
 - andere typen lamp
 - ander formaat achtergrondschild
 - Het grotere achtergrondschild leverde geen significante verbetering op – dit mocht ook worden verwacht gezien de waarnemingsafstand van 170 m.
- 3.1.11 *Goede, M. de, Rypkema, J. A., Alferdinck, J.W.A.M., en Horst, A.R.A. van der (2012). Human Factors beoordeling ontwerp Verdiepte Ligging Zuidelijke Ringweg Groningen. TNO Rapport: TNO-2012-R10882. TNO Mobiliteit, Soesterberg.*
- Beoordeling van papieren ontwerp
 - Beveelt aan om de tunnelsignaalgevers te voorzien van een achtergrondschild, zodat eventuele storende invloed van lichtpunten op de achtergrond wordt voorkomen. Met het oog op de doorrijhoogte kan het schild desnoods alleen aan de zijkant en bovenkant worden aangebracht. De grootte van het achtergrondschild zou volgens RWS (2007a) in de ideale situatie vier keer de letterhoogte moeten zijn. De aanbevolen letterhoogte is 243 mm.
- 3.1.12 *Alferdinck, J.W.A.M., Kroon, E.C.M., Hogervorst, M.A., en Horst, A.R.A. van der (2013). Beoordeling snelheidsaanduidingen hectometerbordjes. TNO Rapport: TNO 2013 R12006. TNO Mobiliteit, Soesterberg.*
- laboratoriumproeven aan leesbaarheid en begrijpelijkheid van (snelheidsaanduidingen op) hectometerbordjes
 - zowel zonder als met witte bias
 - de witte bias heeft geen significant effect op de leesbaarheidsafstand
 - adviseert om de witte bias te gebruiken omdat voor specifieke soorten van kleurenblinden (protanopen) de bordes dan beter als zodanig herkenbaar zijn
- 3.1.13 *Fisher, A.J. & Cole, B.L. (1974). The photometric requirements of vehicular traffic signal lanterns. In: Proceedings of 7th Australian Road Research Board Conference (pp. 246-265).*
- Geen TNO-onderzoek maar wel relevant
 - De breedte van een achtergrondschild moet minimaal drie keer de diameter van de lens van het signaallicht zijn.

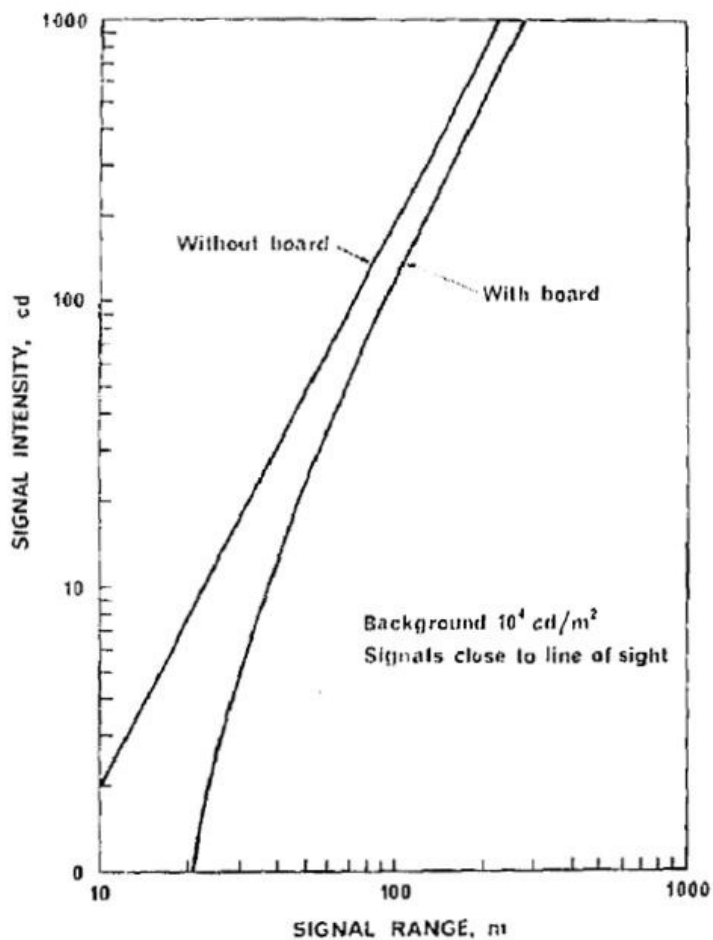
In het toelichting op de norm NEN 3322 voor verkeerslichten (NNI, 1973; de Boer et al. 1973) wordt verwezen naar Fisher (1971) die experimenteel onderzoek heeft verricht naar de vereiste intensiteiten van verkeerslichten. Later heeft dezelfde onderzoeker ook andere aspecten van verkeerslichten onderzocht, waaronder achtergrondschilden (Fisher & Cole, 1975). Hiervoor werd de data van twee andere studies (Cole & Brown, 1966; Jainski & Schmidt-Clausen, 1967) werden samengevoegd in een nomogram (Figuur 1) dat het verband laat zien tussen de relatieve breedte van het achtergrondschild en de waargenomen grootte van de lens van het verkeerslicht (in boogminuten). De getallen bij de krommes geven de factor waarmee de intensiteit van het verkeerslicht vermenigvuldigd moet worden om bij het toepassen van het achtergrondschild om dezelfde zichtbaarheid te krijgen.

Het nomogram laat zien hoe de vereiste lichtsterkte wordt beïnvloed door een achtergrondschild in praktische situaties. Voor een achtergrondschild met een breedte van drie keer de diameter van 200 mm van de lens van het verkeerslicht wordt de vereiste lichtsterkte verlaagd met ongeveer 0,6 op een waarnemingsafstand 100 m.



Figuur 1 De relatieve breedte van het achtergrondschild (target board) en de visuele hoek van de signaallicht (in boogminuten) volgens Fisher & Cole (1975) gebaseerd op data van Cole & Brown (1966) (zwarte rondjes) en Jainski & Schmidt-Clausen (1967) (zwarte vierkantjes). De getallen bij de krommen geven de factor aan waarmee de lichtsterkte van het verkeerslicht vermenigvuldigd moet worden om dezelfde zichtbaarheid krijgen.

Deze gegevens kunnen ook omgezet worden naar andere figuur waar de vereiste lichtsterkte wordt uitgezet tegen de waarnemingsafstand voor de condities met en zonder achtergrondschild. In Figuur 2 is dit gedaan voor een lensdiameter van 200 mm en een achtergrondschild met een breedte van drie keer de lensdiameter. Uit de figuur is af te leiden dat op een afstand van 100 m de vereiste lichtsterkte van een verkeerslicht met achtergrondschild ongeveer 60% is van de lichtsterkte zonder achtergrondschild. Een achtergrondschild is daarmee dus ook een energiebesparende maatregel.



Figuur 2 Het effect van een achtergrondschild (target board) met een breedte van drie keer de diameter van een lens van een verkeerslicht van 200 mm op de vereiste lichtsterkte (signal intensity, in cd) voor een gegeven afstand (signal range, in m). De luminantie van de achtergrond is 10.000 cd/m^2 (overdag).

Fisher & Cole (1975) komen tot de conclusie dat de breedte van een achtergrondschild minimaal drie keer de diameter van de lens van het signaallicht moet zijn. Dit komt overeen met de waarde die geëist wordt in de norm voor verkeerslichten NEN 3322 die toen in Nederland van toepassing was (NNI, 1972).

3.2 Overall analyse TNO-publicaties

3.2.1 Achtergrondschilden

In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van het soort bord of signaallicht en de voorgeschreven afmetingen van het achtergrondschild.

Samenvattend: er is een scala aan maten voor achtergrondschilden, afhankelijk van het type signaalgever. Met uitzondering van de tunnelsignaalgever bedraagt de maximale randbreedte 1,1 maal de hoogte van de signaalgever.

Tabel 1 Overzicht van de publicaties met het soort bord of signaallicht en de afmetingen van het beeld en het achtergrondschild.

Publicatie (jaar)	Soort bord / signaallicht	Beeldgrootte (cm)	Randbreedte achtergrondschild (cm)	Factor randbreedte / beeldgrootte
IZF 1975-C3 (1975)	2 typen matrix lichtbak	55 resp. 36	conform NEN 3322 "ten minste 30"	1,0
IZF 1977-C6 (1977)	matrix lichtbak	-	-	1,1
IZF 1981 C-25 (1981) en NEN 3322	verkeerslichten	-	-	1 (maal diameter licht)
IZF 1977 C-19 en IZF 1981 C-25 (1981)	negenooog	-	-	0,7 (t.o.v. hoogte armatuur)
TM-01-C045 (2001)	universele signaalgever	150	50	0,33
TNO-2012-R10882 (2012)	tunnel-signaalgever	24,3	36,5	1,5
Fisher & Cole (1974)	verkeerslichten	-	-	1 (maal diameter licht)

3.2.2 Witte bies

Het al dan niet toepassen van de witte bies is in slechts één gevonden TNO-rapport experimenteel beproefd (Alferdinck et al., 2013). In dit rapport ging het erom een eventueel effect van de witte bies op de leesbaarheid van de informatie op het bord aan te tonen. Dit effect was niet aanwezig.

TNO adviseert in het rapport om de witte bies toch te gebruiken omdat voor specifieke soorten van kleurenblinden (protanopen) de borden dan beter als zodanig herkenbaar zijn.

Een tweede reden voor het toepassen van de witte bies wordt gegeven in Nederlandse Praktijkrichtlijn NPR 3323 (NNI, 1973) en betreft het vergroten van de opvallendheid van het betreffende bord. Door de witte bies (in de NPR 3323 "witte rand" genoemd) wordt ervoor gezorgd dat op elke achtergrond een goed contrast wordt gerealiseerd, wat de herkenning van het verkeersbord bevordert.

4 Literatuur

- Alferdinck, J.A. (1992). *Lichttechnische eisen voor zelflichtende verkeerssignalering; een literatuurstudie toegepast op een mistwaarschuwingbord*. TNO rapport: IZF 1992 C-6. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Alferdinck, J.A. (2001). *Specificaties van een universele signaalgever*. TNO rapport: TM-01-C045. TNO Technische Menskunde, Soesterberg.
- Alferdinck, J.A. (2002). *Luminantieverhoudingen voor signaalgevers*. TNO rapport: TM-02-C061. TNO Technische Menskunde, Soesterberg.
- Alferdinck, J.W.A.M., Kroon, E.C.M., Hogervorst, M.A., & van der Horst, A.R.A. (2013). *Beoordeling snelheidsaanduidingen hectometerbordjes* (TNO-rapport: TNO 2013 R12006). Soesterberg: TNO Behavioural and Societal Sciences.
- De Boer, J.B., Burghout, F., van Dorp, J.C., van der Hoff, J., van der Kolk, J., Moerman, J.J.B., Rutgers, G.A.W., Schreuder, D.A., Standaar, A.W., & Walraven, P. (1973). *Verkeerslichten - Toelichting op de norm NEN 3322, uitgave december 1972*. Elektrotechniek, 51, (12), 611-633.
- Buuren, R.A. van, Alferdinck, J.W.A.M. (2015). *Analyse en advisering achtergrondschilden* (TNO-rapport: TNO 2015 R11704). Soesterberg: TNO Behavioural and Societal Sciences.
- CIE (1988). *Roadsigns* (Publication CIE Nr. 74). Vienna: International Commission on Illumination CIE.
- CIE (2002). *CIE equations for disability glare* (CIE Publication 146, TC 1-50 report, part of CIE Collection on glare, 2002). Vienna: International Commission on Illumination CIE.
- Goede, M. de, Rypkema, J. A., Alferdinck, J.W.A.M., en Horst, A.R.A. van der (2012). *Human Factors beoordeling ontwerp Verdiepte Ligging Zuidelijke Ringweg Groningen*. TNO Rapport: TNO-2012-R10882. TNO Mobiliteit, Soesterberg.
- Lotens, W.A. (1975). *Beoordeling van een ontwerp voor een rood kruis volgens de norm NEN 3322 in twee typen matrix lichtbakken*. TNO rapport: IZF 1975-C3. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Lotens, W.A. (1977). *Achtergrondschilden voor matrix lichtbakken*. TNO rapport: IZF 1977-C6. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Martens, M.H., Meijer, L., en Horst, A.R.A. van der (2000). *Ontwerp AKI-boom als functie van boomlengte en wegbreedte: De workshop*. TNO memo: TNO-TM 2000-M041. TNO Technische Menskunde, Soesterberg
- NNI (1972). *Verkeersregelinstallaties voor wegverkeer - Lichttechnische eisen en keuringsmethoden* (Nederlandse norm NEN 3322, 2e druk, december 1972). Rijswijk (ZH): Nederlands Normalisatie-instituut.
- NNI (1973). *Verkeerslichten - Toelichting op de norm NEN 3322* (Nederlandse Praktijkrichtlijn NPR 3323, 1e druk, december 1973). Rijswijk (ZH): Nederlands Normalisatie-instituut.
- NNI (2000). Nederlandse norm NEN 3322 (nl) *Verkeersregelinstallaties – Verkeerslantaarns – Aanvullende eisen*. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Norren, D. van (1981). *INFORMATIEDRAGERS LANGS DE WEG: een overzicht van zichtbaarheidsproblemen*. TNO rapport: IZF 1981 C-25. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- RWS (2007a). *Functioneel eisenpakket: Dynamische Verkeersmanagement Systemen. Onderdeel: Matrixsignaalgevers* (Versie 1.4, 28 februari 2007). Rotterdam: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, RWS-AVV.

- RWS (2007b). Functioneel eisenpakket: Dynamische Verkeersmanagement Systemen. Onderdeel: Tunnelsignaalgevers (Versie 1.4, 28 februari 2007). Rotterdam: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, RWS-AVV.
- Toet, A., en Varkevisser, J. (2001). *De visuele opvallendheid van knipperlichten op overweginstallaties*. TNO rapport: TM-01-C013. TNO Technische Menskunde, Soesterberg.
- Varkevisser, J. (1977). *Het tram/bus licht "negenooog" een poging tot ordening* (TNO-rapport IZF 1977 C-19). Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.
- Walraven, J. en Blokland, N.H. (1982a). *Evaluatie van de opvallendheid van borden voor stadsbewegwijzering*. TNO rapport: IZF 1982 C-2. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Walraven, J. en Blokland, N.H. (1982b). *De bijdrage van achtergrondschilden en zwart-wit geblokte masten tot de opvallendheid van verkeerslicht-installaties*. TNO rapport: IZF 1982 C-22. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.