

De waarneembaarheid van een snelheidsverschil op basis van veranderingen in een achterlichtenconfiguratie

Drs. H. W. JANSSEN

Instituut voor Zintuigfysiologie TNO

Samenvatting

Tijdens het rijden bij duisternis kunnen waargenomen veranderingen in de achterlichtenconfiguratie van een voorligger een belangrijke bron van informatie vormen over diens gedrag. Enkele experimenten worden besproken waarin drempelwaarden zijn bepaald voor het snelheidsverschil tussen een voorligger en een waarnemer met de bijbehorende continue verandering hetzij in (a) de hoekafstand tussen de lichten of in (b) hun schijnbare grootte of lichtsterkte als perceptief gegeven. Het blijkt dat de drempelwaarden veel lager zijn wanneer (a) het gegeven is.

Het probleem

De kans op ongelukken bij het autorijden is 's nachts relatief groter dan overdag, een feit dat een grondig onderzoek rechtvaardigt naar, onder andere, de menselijke waarnemingscapaciteiten in de situatie van het nachtrijden. Vooral van gewicht lijkt het probleem van de waarneembaarheid van gedragingen van voertuigen in de nabije omgeving die van directe invloed zijn op de eigen veiligheid. In opdracht van de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid verricht het Instituut voor Zintuigfysiologie onderzoek naar het onder nachtelijke omstandigheden waarnemen van de manoeuvres van een bijzonder belangrijke medeweggebruiker, namelijk de directe voorligger. Voor een bestuurder ligt het belang van dit aspect van zijn waarnemen hierin dat hij op basis van de daaruit gewonnen informatie beslissingen zal nemen omtrent zaken als, bijvoorbeeld, het al dan niet gas terugnemen teneinde een te snelle nadering van de voorligger te voorkomen.

Het probleem waarop het onderzoek zich in eerste instantie heeft toegespitst is dat van de waarneembaarheid van de bewegingen van een voorligger op basis van de veranderingen en het tempo waarin deze plaatsvinden in diens achterlichtenconfiguratie. Dit soort informatie speelt vooral een rol bij het rijden op onverlichte of matig verlichte wegen, maar ook bij goede verlichting valt veel af te lezen van de zich in een configuratie voordoen- de veranderingen. Dit artikel geeft een overzicht van de eerste experimenten die in het kader van het onderzoek zijn uitgevoerd.

The perceptibility of a velocity difference on the basis of changes in a taillight configuration

Summary

When driving in darkness, perceived changes in the taillight configuration of a leading vehicle may constitute important information with respect to its behavior. Some experiments are discussed in which threshold values for the velocity difference between a leading vehicle and a perceiver have been determined with the accompanying continuous change either in (a) the angular separation between the lights or in (b) their apparent size or intensity as a perceptual cue. It appears that threshold values are much lower when (a) is the cue.

Distale en proximale stimulatie

Het is zaak om onderscheid te maken tussen twee manieren waarop een waarnemingssituatie beschreven kan worden. Alhoewel deze beschrijvingswijzen in elkaar verwisselbaar zijn is er één die men speciaal zal hanteren indien men geïnteresseerd is in praktische consequenties. Dat is de beschrijving in termen van de distale stimulus (Fig. 1), dat wil zeggen van het bewegende voertuig

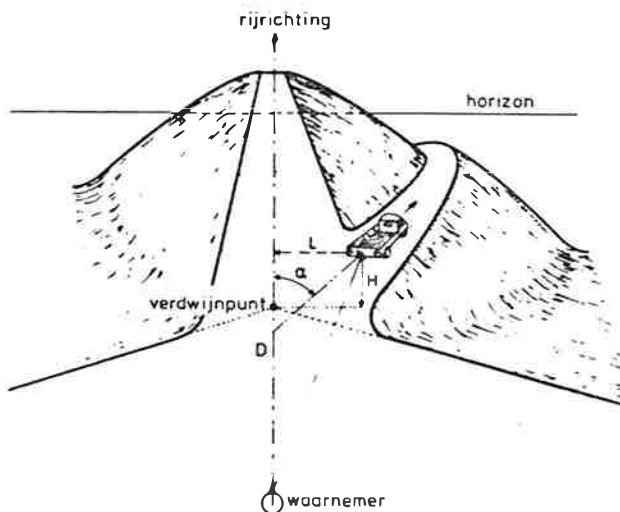


Fig. 1. Distale stimulus-situatie bij het volgen van een voorligger. De relevante variabelen zijn:

D: afstand, L: zijwaartse afstand tot rijrichting van het voertuig van de waarnemer; α : de hoek tussen de rijrichtingen van beide voertuigen; H: hoogteverschil tussen het vlak door verdwijnpunt en oog van de waarnemer evenwijdig aan de horizon, en de achterlichten van de voorligger. (Ontleend aan [6])

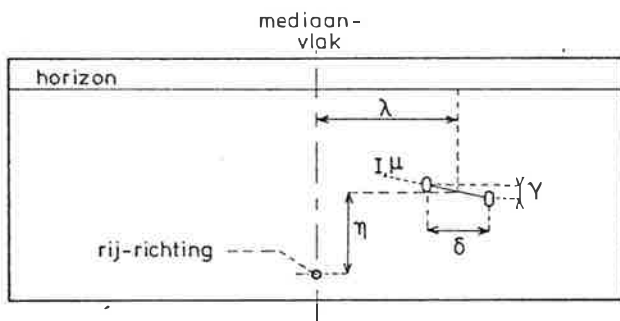


Fig. 2. Proximale stimulus-situatie bij het volgen van een voorligger. De relevante variabelen zijn:
 I : de schijnbare lichtsterkte van de achterlichten; μ : schijnbare grootte van de achterlichten; δ : horizontale hoekafstand tussen de achterlichten; γ : verticale hoekafstand tussen de achterlichten; η : verticale hoekafstand tussen verdwijnpunt en achterlichten; λ : horizontale hoekafstand tussen verdwijnpunt en achterlichten. (Ontleend aan [6])

vóór de waarnemer. De proximale stimulus (Fig. 2) is het netvliesbeeld dat door de distale stimulus geweegebracht wordt.

De proximale stimulus is een transformatie van de distale, en zolang deze transformatie compleet wordt gehouden (men spreekt dan van *simulatie*) maakt het voor een waarnemer niets uit of hij zich in het laboratorium bevindt of in de echte wereld. Conclusies betreffende waarnemingsprocessen uit de laboratoriumsituatie zijn in dat geval van toepassing op de reële situatie. Dit is dan ook de rationale van het verrichten van laboratoriumonderzoek naar aspecten van het waarnemen in het verkeer door middel van simulatie.

Van de in Fig. 2 weergegeven variabelen lijken enkele wat minder relevant voor Nederlandse omstandigheden, namelijk de verticale hoekafstand tussen de achterlichten en die tussen het verdwijnpunt en de achterlichten. Dit laat ons in eerste instantie de volgende grootheden waarvoor geldt dat een (tempo van) verandering erin informatie verschafft over een (snelheid van) verandering in positie ten opzichte van een voorligger, dat wil zeggen over een snelheidsverschil:

- 1 de horizontale hoekafstand tussen de achterlichten;
- 2 de schijnbare grootte en lichtsterkte van de achterlichten (het zal nog duidelijk worden waarom deze in één adem worden genoemd);
- 3 de horizontale hoekafstand tussen de eigen rijrichting en de positie van de achterlichten.

In de uitgevoerde experimenten is gebruik gemaakt van één afhankelijke variabele, te weten: die verschillingsnelheid tussen de waarnemer en de voorligger waarbij het voor de waarnemer nog juist zichtbaar is dat er een verandering in onderlinge positie optreedt. Er zijn dus drempelwaarden voor verschillingsnelheid bepaald met als proximaal gegeven

een continue verandering in de genoemde variabelen samengaan met een beweging bij die snelheid.

Waarneembaarheid van de verandering in hoekafstand tussen achterlichten

Over het in deze paragraaf te bespreken werk is elders uitvoerig gerapporteerd [1]. Uitgangspunt voor de simulatie was de relatie tussen de hoekafstand δ tussen de lichten en de waarnemingsafstand D , die gegeven wordt door

$$\delta = \frac{\alpha}{D} \text{ radialen } (\delta < 10 \text{ booggraden}),$$

waarin α de ware afstand tussen de achterlichten is. Voor een niet te kleine personenwagen bedraagt deze ongeveer 1.40 m.

De vergelijking laat zien dat, indien althans de voorligger zich beweegt op dezelfde koers als de waarnemer en met een constante verschillingsnelheid, de hoekafstand tussen de achterlichten omgekeerd evenredig verloopt met de waarnemingsafstand. De snelheid van verandering in hoekafstand, het relevante perceptieve gegeven, is gelijk aan de eerste tijdsafgeleide van deze vergelijking en is uiteraard afhankelijk van de grootte van de verschillingsnelheid.

Drempelwaarden voor de verschillingsnelheid zijn in een donkere omgeving bepaald als functie van:

- 1 de hoekafstand bij het begin van het waarnemingsinterval (120, 60, 30, 15 of 7.5 boogminuten, corresponderende met waarnemingsafstanden van 40, 80, 161, 321 of 642 m voor achterlichten op 1.40 m van elkaar);
- 2 de duur van het waarnemingsinterval ($1/2$, 1, 2 of 4 sec);
- 3 de relatieve bewegingsrichting. Deze was recht naar de waarnemer toe (de situatie waarin de snelheid van de waarnemer groter is dan die van de voorligger) of recht van de waarnemer af. In het eerste geval neemt de hoekafstand tussen de lichten positief accelererend toe tijdens het waarnemingsinterval, in het tweede geval negatief accelererend af;
- 4 het al dan niet aanwezig zijn van een achtergrond bestaande uit een fijnmazig raster waarvan de cellen op willekeurige wijze zwart of wit waren gemaakt, in een half om half verhouding.

Bewegingen van de lichten in de diepte werden gesimuleerd door middel van projectie van twee lichtpunten op een scherm met behulp van draaiende spiegels in overeenstemming met de omgekeerde relatie tussen waarnemings- en hoekafstand. Het was mogelijk om de genoemde experimentele variabelen onafhankelijk van elkaar te manipuleren. Door de grootte van de lichten (1 boogminuut) en hun luminantie (21 cd/m^2) constant te

Fig. 3. Drempelwaarde van de verschillsnelheid in kilometers per uur (op basis van een waargenomen verandering in hoekafstand tussen achterlichten) als functie van de waarnemingsafstand voor verschillende waarnemingsduur. De bewegingsrichting is naar de waarnemer toe. (Ontleend aan [1])

houden kon de relevante variabele kunstmatig geïsoleerd worden.

Drempelwaarden werden gemeten met een moderne zogenaamde signaal-detectie methode, die gebaseerd is op nieuwe opvattingen over de wijze van functioneren van de menselijke zintuigen [2]. De resultaten zijn grafisch weergegeven in Fig. 3 en 4. Aangezien de statistische analyse aantoonde dat de aanwezigheid van een achtergrond niets uitmaakte is verder over deze factor gemiddeld.

Als een belangrijk resultaat moet worden beschouwd dat de drempels voor relatieve beweging naar de waarnemer toe lager zijn dan voor beweging van hem af. Aangezien een voertuig dat nadert potentieel gevaarlijker is dan een dat zich verwijdert werkt dit effect juist in de goede richting. Overigens kan men laten zien dat dit resultaat niet zozeer wordt bepaald door de invloed van de bewegingsrichting op zich, als wel door het bestaan van een a priori asymmetrie tussen nadering en verwijdering. Zoals namelijk na valt te gaan aan de hand van de omgekeerde relatie tussen waarnemings- en hoekafstand wordt een gegeven verandering in hoekafstand bij naderende lichten bereikt bij een aanzienlijk lagere verschillsnelheid dan bij zich verwijderende lichten. Als men hiervoor corrigeert blijkt het effect van de bewegingsrichting aanzienlijk zwakker te zijn.

Met toenemende waarnemingsafstand neemt de snelheidsdrempel toe, een resultaat dat inzichtelijk is indien men zich realiseert dat een zekere verandering in hoekafstand bij kleine waarnemingsafstanden een geringere verschillsnelheid vereist dan bij grote.

Tenslotte blijken snelheidsdrempels af te nemen indien het waarnemingsinterval toeneemt van $\frac{1}{2}$ tot 2 sec. Zoals de figuren laten zien is er echter nauwelijks meer sprake van een verder afnemen bij een interval van 4 sec. Erg lang kijken helpt kennelijk niet.

Uit de gevonden drempelwaarden kan worden berekend hoeveel tijd een bestuurder ter beschikking heeft om een beslissing te nemen en uit te voeren nadat hij een verschil in snelheid heeft gedetecteerd. Deze tijden zijn, voor het geval van relatieve

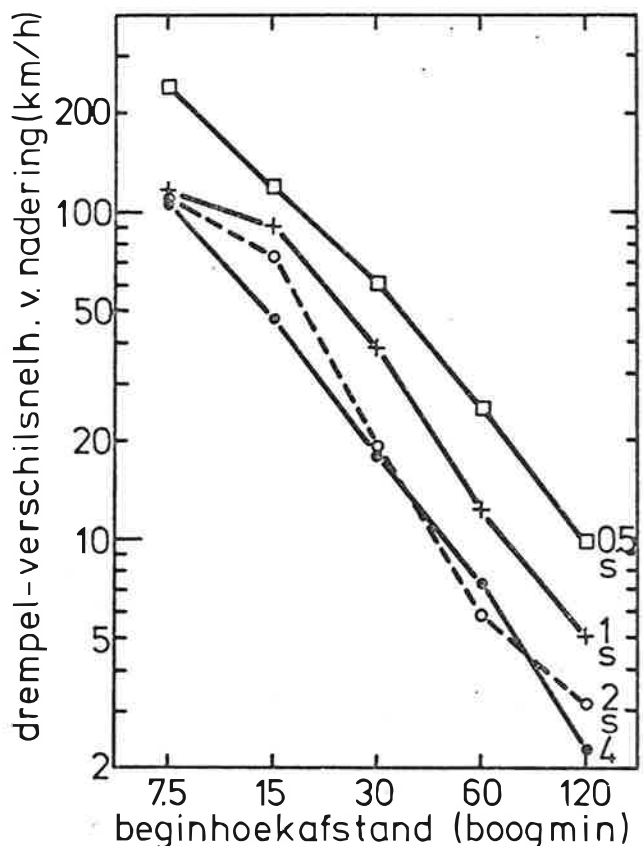
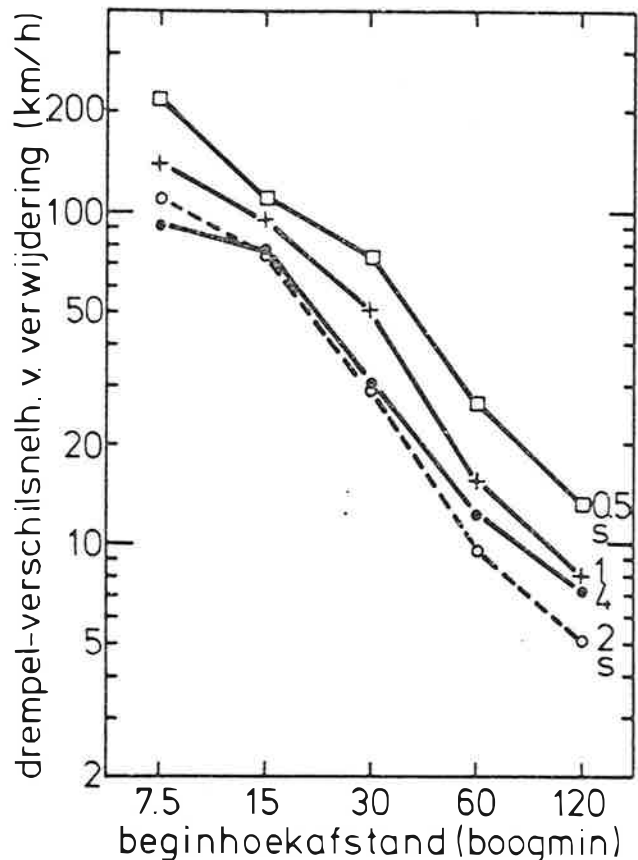


Fig. 4. Als Fig. 3, met bewegingsrichting van de waarnemer af. (Ontleend aan [1])

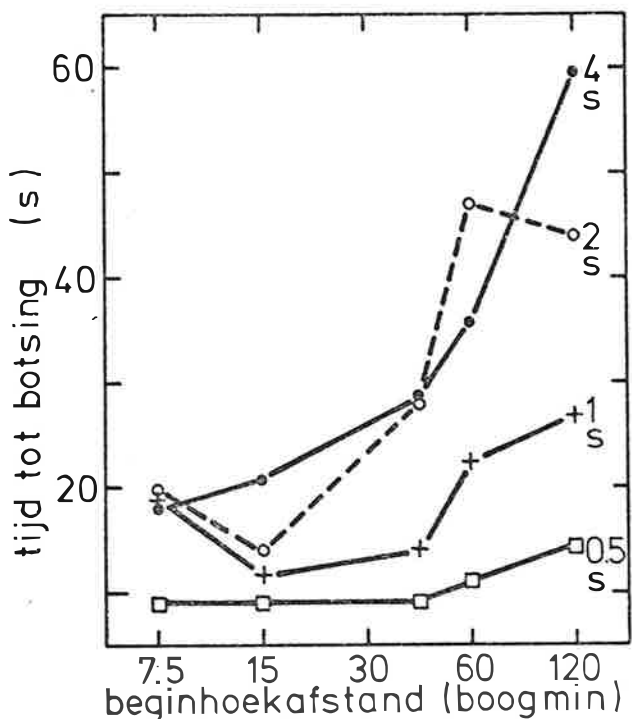


Fig. 5. Beschikbare tijd tot botsing als functie van de waarnemingsafstand voor verschillende waarnemingsduur.

nadering, uitgezet in Fig. 5, waaruit enigszins verrassend blijkt dat er bij grotere afstanden juist *minder* tijd beschikbaar is. Het is interessant om vast te stellen dat een aantal tijden in de buurt ligt van het minimum van 10 sec. dat inderdaad als benodigd beschouwd wordt om nog maatregelen te kunnen nemen bij het optreden van onverwachte gebeurtenissen [5].

In een later experiment [3] is nagegaan wat het effect is van de aanwezigheid van een zijwaartse snelheidscomponent in de beweging van de voorligger — proximaal gerepresenteerd door een zijwaartse hoeksnelheid van de achterlichten — op de drempelwaarden voor voorwaartse verschillensnelheid. (Het gaat hier dus om de op blz. 00 onder (3) genoemde grootte.) Een belangrijke situatie waarin een zijwaartse snelheidscomponent aanwezig is, is die waarin de voorligger bezig is de weg te verlaten (en waarin de waarnemer dat eveneens wil gaan doen). Het bleek dat de juist waarneembare voorwaartse verschillensnelheid gemiddeld niet minder dan ongeveer 2.5 maal zo hoog lag als die in het vorige experiment, onder overigens gelijke condities. Men mag veronderstellen dat hiermee een factor is geïsoleerd die bijdraagt tot het ontstaan van ongevallen bij het in het donker verlaten van een weg. Met zulk een drastische stijging in de nog juist waarneembare verschillensnelheid wordt immers de voor een bestuurder beschikbare tijd even drastisch gereduceerd.

Waarneembaarheid van veranderingen in schijnbare grootte en lichtsterkte

Wanneer een lichtbron ten opzichte van een waarnemer in de diepte beweegt treden er continue veranderingen in schijnbare grootte of lichtsterkte op. Omgekeerd kan op grond van waargenomen veranderingen in deze variabelen afgeleid worden dat er een beweging optreedt.

Beschouw het geval waarin een cirkelvormig licht zich in het donker recht van de waarnemer af beweegt, startend vanuit een positie vlak bij hem. (Bij beweging naar de waarnemer toe verlopen de gebeurtenissen in omgekeerde volgorde.) In het begin van zijn beweging heeft het licht een zodanige schijnbare grootte dat verschillen daarin door het oog opgemerkt kunnen worden. Aangezien de hoekdiameter van het licht omgekeerd evenredig is met de waarnemingsafstand verloopt de schijnbare grootte omgekeerd evenredig met het kwadraat van die afstand. Ook de hoeveelheid op de pupil ontvangen energie afkomstig van het licht verloopt op deze wijze, zodat dus de hoeveelheid energie per oppervlakte-eenheid constant blijft met de waarnemingsafstand. Dat betekent dat de helderheid van het licht niet verandert, zodat de enige informatie waaruit kan worden vastgesteld dat het licht ten opzichte van de waarnemer beweegt een verandering in schijnbare grootte is.

Naarmate het licht zich verder van de waarnemer verwijderd komt er echter verandering in deze stand van zaken. Op een zekere afstand wordt namelijk de schijnbare grootte van het licht zo gering dat het oog geen verschillende grootten meer kan onderscheiden. Nu blijft dus de schijnbare grootte van het licht onveranderd met de waarnemingsafstand: er is sprake van een *puntbron*. Aangezien echter de hoeveelheid ontvangen lichtenergie blijft verlopen met het kwadraat van de waarnemingsafstand is een verandering in lichtsterkte in dit stadium het enige gegeven waaruit beweging in de diepte kan blijken.

Het is nu wederom mogelijk drempelwaarden van de verschillensnelheid te bepalen, ditmaal met het besproken verloop in lichtsterkte of schijnbare grootte als geïsoleerd proximaal gegeven. De resultaten van een experiment waarin dit gebeurd is [4] zijn weergegeven in Fig. 6. Beweging in de diepte werd gesimuleerd door de hoekdiameter van de projectie van een lichtbron (luminantie: 19 cd/m²) met een ware diameter van 15 cm te doen verlopen volgens de reeds meermalen vermelde omgekeerde relatie tussen waarnemingsafstand en omspannen hoek. Er werden verder weer dezelfde experimentele variabelen gebruikt als in het eerder besproken experiment, met uitzondering van de mogelijke aanwezigheid van een achtergrond.

Enkele van de in de vorige paragraaf besproken resultaten traden ook nu op, namelijk de afhankelijkheid van de drempelwaarden van de waar-

nemingsduur, de bewegingsrichting en de waarnemingsafstand. Hierbij moet worden aangetekend dat het effect van de bewegingsrichting ook nu weer grotendeels kan worden verklaard door een a priori aanwezige asymmetrie tussen nadering en verwijdering in termen van schijnbare grootte en lichtsterkte. Wat het effect van de waarnemingsafstand aangaat zij opgemerkt dat er enige grond lijkt te zijn om te concluderen dat de overgang van groottegevoelig naar lichtsterktegevoelig functioneren van het oog ergens tussen 40 en 50 m waarnemingsafstand ligt voor een licht van 15 cm diameter, dat is bij een hoekdiameter tussen 10 en 13 boogminuten. Dit blijkt uit de knik die op dat punt in drie van de vier curven in Fig. 6 aanwezig is.

De belangrijkste conclusie blijkt echter pas bij vergelijking met de gegevens in Fig. 3 en 4. Men ziet dat de drempelsnelheden in die figuren zeer veel lager zijn dan die in Fig. 6, hetgeen betekent dat grootte- en lichtsterkte-informatie totaal geen rol zullen spelen bij het waarnemen van snelheidsverschillen. (Dit blijkt eveneens op te gaan indien men er rekening mee houdt dat de drempelmetingen uitgevoerd zijn voor slechts één enkel licht in plaats van voor twee lichten.) Informatie omtrent verandering in hoekafstand tussen de achterlichten is reeds effectief bij zeer veel lagere snelheidsverschillen dan waarbij grootte- en lichtsterkteveranderingen een rol gaan spelen.

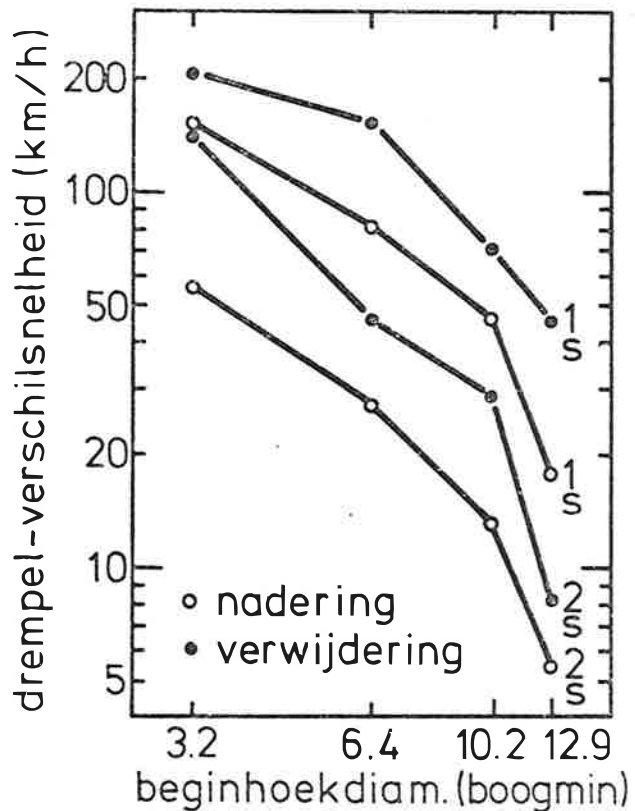


Fig. 6. Drempelwaarde van de verschilnelheid in kilometers per uur (op basis van waargenomen verandering in schijnbare grootte of lichtsterkte van een licht) als functie van de waarnemingsafstand, de waarnemingsduur en de bewegingsrichting.

Literatuur

- [1] Harvey, L. O. and Michon, J. A.: Effects of viewing distance and angular separation. IZF-rapport 1971-C6
- [2] Janssen, W. H.: Psychofysische maten voor sensorische gevoeligheid. IZF-rapport 1971-13
- [3] Janssen, W. H.: Effect of lateral motion on thresholds for relative sagittal motion. IZF-rapport 1971-C20
- [4] Janssen, W. H.: Perceptibility of relative sagittal motion on the basis of changes in apparent size or intensity of taillights. IZF-rapport (in druk)
- [5] Lorenz, E. H. H.: Trasierung und Gestaltung von Strassen und Autobahnen. Bauverlag GMBH, Wiesbaden und Berlin (1971)
- [6] Michon, J. A.: Onderzoek naar waarneming van snelheid, richting en afstand van snelverkeer bij duisternis. IZF-memorandum VK-69 MO3 (1969)