

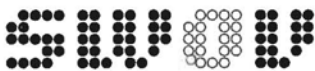
GEVARENDRIEHOEKEN

DE WAARNEEMBAARHEID VAN VOERTUIGEN

gevarendriehoeken

functie, vormgeving en toepassing

1969



1969-8

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Deernsstraat 1 - Postbus 3071 - Voorburg - Nederland

Inhoud

	blz.
Voorwoord	7
SAMENVATTING	9
I. Het probleem	11
I.1. Bij duisternis op een onverlichte weg	11
I.2. Overdag en bij openbare verlichting	11
I.3. Waarschuwingstekens	11
II. Mogelijke oplossingen	12
III. Mogelijkheden tot onderzoek in Nederland	13
IV. Theoretische eisen voor gevarendriehoeken	14
IV.1. Waarneembaarheid (Herkenbaarheidsafstand)	14
IV.2. Windstabiliteit	14
V. De resultaten van het praktijkonderzoek aan gevarendriehoeken	15
V.1. Herkenbaarheidsafstand bij duisternis	15
V.2. Herkenbaarheidsafstand bij daglicht en schemer	16
V.3. Het plaatsen	16
VI. De beschikking van de Minister van Verkeer en Waterstaat	17
VII. De wettelijke regeling	18
HET ONDERZOEK	21
Verklaring van gebruikte symbolen	22
1. Het ontdekken en beoordelen van snelheidsverschillen tussen voertuigen	25
2. Het aantal botsingen met op de weg (op of naast de rijbaan) stilstaande voertuigen	30
3. Wettelijke voorschriften inzake de gevarendriehoek	33
4. De waarneembaarheid van gevarendriehoeken	35
4.1. Analytische benadering	35

4.1.1.	Herkenbaarheidsafstand en remafstand	35
4.1.2.	Zichtbaarheidsafstand en reflecterend vermogen	35
4.1.3.	Zichtbaarheidsafstand en verblinding	37
4.1.4.	Verblinding en reflecterend vermogen	38
4.1.5.	Zichtbaarheid en herkenbaarheid	40
4.2.	Empirische benadering	41
4.2.1.	Doelstelling	41
4.2.2.	Opzet	42
4.2.3.	Herkenbaarheidsafstand bij daglicht, schemer en duisternis	42
4.2.4.	De plaatsing op de weg	43
4.2.5.	Herkenbaarheidsafstand en reflecterend vermogen	44
4.3.	Voor de zichtbaarheid geschatte en voor de herkenbaarheid geobserveerde waarden van het reflecterend vermogen	46
4.4.	Het vereiste reflecterend vermogen	48
4.4.1.	Bij duisternis	48
4.4.2.	Bij daglicht en schemer	49
4.4.3.	In de toekomst	49
5.	De windstabiliteit van gevarendriehoeken	50
5.1.	De belasting op de gevarendriehoek ten gevolge van luchtstroming	50
5.1.1.	De luchtsnelheid	51
5.1.2.	Het frontale oppervlak van de driehoek	52
5.1.3.	De luchtweerstandscoëfficiënt en de luchtdichtheidsconstante	53
5.1.4.	Berekening van de belasting op de driehoek	53
5.2.	Verschuiven en kantelen	54
5.3.	Voorbeelden	56
Literatuur		58
BIJLAGEN		
behorende bij het SWOV-rapport Gevarendriehoeken:		59
B1.	Keuringseisen voor gevarendriehoeken	61
B1.1.	Uitvoering	61
B1.1.1.	Definitie gevarendriehoeken	61
B1.1.2.	Typen	61
B1.2.	Afmetingen	61
B1.3.	Lichttechnische eigenschappen	62
B1.3.1.	Kleur	62
B1.3.2.	Reflectie	62
B1.4.	Constructieve eigenschappen	63
B1.4.1.	Algemene eis	63
B1.4.2.	Stabiliteit	64
B1.4.3.	Druipwaterdichtheid	64
B1.5.	Materiaaleigenschappen	65
B1.5.1.	Retroflecterend materiaal	65
B1.5.2.	De metalen delen	65
B2.	Toelichting op de stabiliteitskeuring	66
B2.1.	Testmethoden	66
B2.1.1.	De praktijktest	66
B2.1.2.	De windtunnetest	66
B2.1.3.	De belastingtest	66
B2.1.4.	De rekentest	67
B2.2.	Vergelijking van de testmethoden	67

Voorwoord

Bij de overweging het gebruik van een gevarendriehoek verplicht te stellen, kwam het Ministerie van Verkeer en Waterstaat tot de slotsom dat de eisen die aan gevarendriehoeken worden gesteld van land tot land verschilden. Bovendien kon het Ministerie, ondanks vele pogingen daartoe, niet gewaar worden waarop deze eisen waren gebaseerd.

De Minister van Verkeer en Waterstaat gaf daarom in 1966 aan de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) de opdracht te onderzoeken welke functionele eisen aan de waarneembaarheid en de windstabiliteit van gevarendriehoeken kunnen worden gesteld.

Het verloop van dit onderzoek was als volgt:

Nadat eerst een analyse was gemaakt van de gebruiksomstandigheden van gevarendriehoeken werden theoretische eisen opgesteld ten aanzien van de waarneembaarheid en de windstabiliteit.

Bij een ministeriële beschikking ingaande januari 1967, werden richtlijnen betreffende gevarendriehoeken gegeven die op deze eisen waren gebaseerd.

Daarna werden metingen verricht naar de waarneembaarheid en de windstabiliteit van een aantal gevarendriehoeken welke begin 1967 in de handel waren. De theoretische eisen werden aldus getoetst aan de praktijk. De praktijktoets naar de waarneembaarheid werd uitgevoerd door het Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO (Dr. J. A. Michon, Ir. A. van Meeteren, H. J. Leebeek, A. Lazet). Het RAI-TNO Instituut voor wegtransportmiddelen (J. C. Bastiaanse en J. van der Weiden) verrichtte de metingen naar de windstabiliteit.

Vervolgens werden aanbevelingen opgesteld voor keuringseisen en keuringmethoden. De hieraan verbonden werkzaamheden werden verricht in samenwerking met het Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO, het RAI-TNO Instituut voor Wegtransportmiddelen, de N.V. tot Keuring van Electrotechnische Materialen KEMA (Ir. J. B. Moerman en J. Boersema), de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (Drs. F. Burghout) en het Verfinstituut TNO (A. M. Berendsen).

Deze aanbevelingen voor keuringseisen en keuringmethoden werden, te zamen met de gegevens uit het onderzoek, in 1968 aan de opdrachtgever ter hand gesteld.

Het rapport *Gevarendriehoeken* werd samengesteld door Drs. D. J. Griep (afdeling Menselijke Factoren) en Ir. F. C. Flury (afdeling Basiswetenschappen) in

samenwerking met Dr. Ir. D. A. Schreuder (afdeling Basiswetenschappen), Ir. H. G. Paar (afdeling Weg en Voertuig) en J. C. A. Carlquist (afdeling Statistiek & Documentatie).

Ir. E. Asmussen
Directeur SWOV

SAMENVATTING

I Het probleem

I.1 Bij duisternis op een onverlichte weg

Wanneer een automobilist een stilstaand voertuig nadert, zal hij als regel slechts een snelheidsverschil met dit voertuig constateren. Hij kan veelal niet direct herkennen of het voertuig al dan niet stilstaan. Rijdt zijn voertuig sneller dan circa 120 km/h, dan zal de afstand waarop hij het snelheidsverschil met een stilstaand voertuig ontdekt, als regel te kort zijn om nog tijdig te kunnen stoppen.

I.2 Overdag en bij openbare verlichting

Overdag en 's nachts op wegen met openbare verlichting zal de naderende bestuurder aan de positie van het voertuig een aanwijzing kunnen krijgen of dit stilstaat dan wel beweegt. Dit kan het geval zijn wanneer het voertuig **in de berm** of **op de vluchtstrook** staat. Maar als een voertuig **op de rijbaan stilstaat** zal zelfs ook overdag een onmiddellijk onderkennen daarvan op voldoende afstand veelal niet mogelijk zijn.

I.3 Waarschuwingstekens

Deze omstandigheden geven de noodzaak aan van twee waarschuwingssystemen: één voor voertuigen die **op de rijbaan stilstaan** en één voor voertuigen die **naast de rijbaan stilstaan**. Het waarschuwingsteken voor **op de rijbaan stilstaande** voertuigen moet zowel overdag als bij duisternis worden gebruikt. Het waarschuwingsteken voor **naast de rijbaan stilstaande** voertuigen moet in ieder geval 's nachts worden gebruikt, ook wanneer de verlichting van het stilstaande voertuig brandt. Aan de verlichting alleen is immers niet te herkennen of het voertuig stilstaat dan wel beweegt. Ook is niet te zien of het voertuig al dan niet in de baan van de naderende bestuurder staat.

II Mogelijke oplossingen

Reeds toegepaste 'officiële' waarschuwingssystemen zijn o.a. de gevarendriehoek en het automatisch en continu doen knipperen van de remlichten en/of de richtingaanwijzers (zoals in de USA gebruikelijk). Aan welke van deze systemen de voorkeur moet worden gegeven is niet bekend. Het is mogelijk dat een combinatie van beide systemen aanbeveling verdient: bijvoorbeeld het gebruik van een gevarendriehoek bij voertuigen die naast de rijbaan stilstaan en van het 'Amerikaanse' systeem bij voertuigen die op de rijbaan stilstaan. Het zal overigens wel duidelijk zijn dat met dergelijke waarschuwingssystemen niet alle botsingen met de op de weg stilstaande voertuigen kunnen worden vermeden.

III Mogelijkheden tot onderzoek in Nederland

Aangezien de keuze van het waarschuwingssysteem in Europa reeds was bepaald — de gevarendriehoek — werd de opdracht tot onderzoek door de Minister van Verkeer en Waterstaat beperkt tot de gevarendriehoek. In de opdracht werd verzocht eisen aan te geven voor de waarneembaarheid en de windstabiliteit van gevarendriehoeken.

Dit rapport bevat een analyse van de gebruiksomstandigheden waarvan deze eisen werden afgeleid. Het bevat ook het verslag van een praktijkonderzoek naar de waarneembaarheid van een aantal begin 1967 in de handel zijnde gevarendriehoeken.

IV Theoretische eisen voor gevarendriehoeken

IV.1 Waarneembaarheid (Herkenbaarheidsafstand)

Op grond van de benodigde remafstand voor een snelheid van 120 km/h (dit is de snelheid die gemiddeld door niet meer dan 15 % van de bestuurders wordt overschreden op wegen met gescheiden rijbanen) werd een afstand van 210 m afgeleid als minimaal vereiste herkenbaarheidsafstand van gevarendriehoeken. Hierbij werd uitgegaan van een remvertraging (op natte wegdekken) van 4 m/sec^2 en een reactietijd van bestuurder + voertuig (voor onverwachte gebeurtenissen) van 3 sec. Tevens werd rekening gehouden met het voorschrift in het Reglement Verkeersregels en Verkeerstekens (RVV) dat een gevarendriehoek op 30 m afstand van het stilstaande voertuig moet worden geplaatst.

Een aantal van de onderzochte driehoeken bleek te voldoen aan deze theoretische eis ten aanzien van de herkenbaarheidsafstand.

IV.2 Windstabiliteit

Windsnelheden die het gevolg zijn van luchtwervelingen achter rijdende voertuigen, met name achter vrachtwagens, alsmede (de frequentie van) het voorkomen van windsnelheden die overeenkomen met windkracht 11 (zware storm) waren bepalend voor het afleiden van de eis ten aanzien van de windstabiliteit van gevarendriehoeken. De eis luidt dat deze niet mogen verschuiven en/of kantelen bij een windsnelheid $v = 20 \text{ m/sec}$. Hieruit werden de consequenties afgeleid ten aanzien van het gewicht en de afmetingen van het grondvlak van gevarendriehoeken.

Ook aan deze theoretische eis bleken enkele van de onderzochte gevarendriehoeken te voldoen.

V De resultaten van het praktijkonderzoek aan gevarendriehoeken

V.1 Herkenbaarheidsafstand bij duisternis

1. Uit experimenteel onderzoek blijkt een herkenbaarheidsafstand van 210 meter te corresponderen met een reflecterend vermogen van 90 cd/m^2 per lux. Dit geldt – voor een gevarendriehoek met de internationaal aanbevolen afmetingen – ook in het geval de waarnemer wordt gehinderd door de dimlichten van een tegenligger. In het experiment werden echter condities gekozen die niet als de meest kritische beschouwd kunnen worden voor de werkelijke verkeerssituatie. Er werden namelijk geen andere objecten dan een gevarendriehoek aangeboden om te worden ontdekt en herkend. Bovendien was steeds slechts één (dimlichtenvoerende) tegenligger aanwezig. In de werkelijke verkeerssituatie zullen meestal tegelijkertijd ook andere objecten door de bestuurder dienen te worden ontdekt en herkend. De bestuurder kan daarbij bovendien worden gehinderd door de lichten van meer dan één tegenligger. Dit kan een geringere herkenbaarheidsafstand tot gevolg hebben.

2. De afstand tussen (het hart van) de dimlichten van de tegenligger was bij het experiment 1,20 meter. Voor sommige smalle voertuigen zal deze afstand kleiner zijn dan 1,20 m. In dat geval wordt ook de herkenbaarheidsafstand gereduceerd door sterkere verblinding.

3. De zijdelingse afstand tussen het dichtst bij de gevarendriehoek zijnde dimlicht van de tegenligger en de gevarendriehoek was 3 m.

Bij een geringere zijdelingse afstand neemt de verblinding, die de bestuurder die de driehoek nadert ondervindt van de dimlichten van de tegenligger, toe. Een hoger reflecterend vermogen is dan vereist voor een herkenbaarheidsafstand van 210 m.

Een reflecterend vermogen hoger dan 90 cd/m^2 per lux voor de gevarendriehoek is daarom aan te bevelen.

In West-Duitsland geldt de eis dat deze tenminste 125 cd/m^2 per lux moet bedragen. Deze eis is gebaseerd op de fabricagemogelijkheden. Hij lijkt ook voor Nederland aanvaardbaar.

V.2 Herkenbaarheidsafstand bij daglicht en schemer

De herkenbaarheidsafstand van gevarendriehoeken is bij daglicht en schemer geringer dan bij duisternis. In het geval de gevarendriehoek bij duisternis wordt aangestraald door de dimlichten van een naderend voertuig, is het helderheidscontrast tussen driehoek en omgeving immers zeer veel groter dan overdag. Teneinde de herkenbaarheidsafstand voor overdag en gedurende de schemering te vergroten kan men de driehoek eventueel voorzien van een rood fluorescerende rand. Voor een dergelijke facultatieve uitvoering zijn eveneens eisen opgesteld.

V.3 Het plaatsen

De herkenbaarheidsafstand neemt af wanneer de gevarendriehoek niet loodrecht op de as van de weg wordt geplaatst, maar onder een hoek die hiervan meer dan $\pm 30^\circ$ afwijkt.

VI De beschikking van de Minister van Verkeer en Waterstaat

Bij ministeriële beschikking van 21 oktober 1966, nr. 63774, werden de volgende eisen geformuleerd inzake de gevarendriehoek:

- a) de lengte van de zijden moet tenminste 45 cm bedragen
- b) de zijden moeten over de gehele lengte zijn voorzien van rood re(tro)reflecterend materiaal ter breedte van tenminste 5 cm
- c) de driehoek moet bij dag, op de weg geplaatst, duidelijk zichtbaar zijn voor de bestuurder van een motorvoertuig dat zich bevindt op een afstand van 250 m van de driehoek
- d) de driehoek moet bij donker, op de weg geplaatst, duidelijk zichtbaar zijn voor de bestuurder van een motorvoertuig dat dimlicht voert en dat zich op een afstand van 250 m van de driehoek bevindt
- e) de driehoek moet, al dan niet met behulp van een voorwerp ter verzwaring, stevig op de weg kunnen staan; hij mag, ongeacht de toestand van het wegdek, niet wegglijden en ook bij zware windstoten niet omvallen.

Voor gevarendriehoeken met de internationaal aanbevolen afmetingen en met een reflecterend vermogen van 125 cd/m^2 per lux zal bij duisternis deze zichtbaarheidsafstand meestal nog worden overtroffen. Deze driehoeken zullen in vele gevallen op die afstand reeds als zodanig kunnen worden herkend en juist deze herkenbaarheid is essentieel. De afstelling van de dimlichten van het voertuig, die de gevarendriehoek aanschijnen, speelt geen primaire rol, zolang deze afstelling zo is dat de gevarendriehoek op 250 m wordt aangestraald door het strooilicht dat nog boven de afsnijding van de lichtbundel wordt uitgestraald.

VII De wettelijke regeling

De huidige wettelijke regeling (R.V.V. art. 78) stelt het gebruik van een rood retro reflecterende gevarendriehoek verplicht bij motorvoertuigen op meer dan twee wielen die buiten de bebouwde kom in de volgende situaties verkeren:

bij donker: 'indien van een stilstaand voertuig de voorgeschreven voor- en achterverlichting in het ongereede is';

bij dag: 'indien het voertuig op een zodanige plaats stilstaat dat het niet tijdig door andere bestuurders kan worden opgemerkt'.

Deze omschrijving behoeft aanvulling. Ook in andere situaties overdag en 's nachts kan het gebruik van een waarschuwingssysteem aanbeveling verdienen. Uit de zichtbaarheid van (de lichten van) het voertuig volgt immers nog niet dat het voertuig stilstaat of in beweging is. Dit geldt speciaal voor de situatie bij donker, maar ook bij dag, met name wanneer het voertuig niet naast maar op de rijbaan stilstaat.

Bij donker zal in een aantal gevallen de naderende bestuurder nog tijdig een snelheidsverschil met het stilstaande voertuig kunnen ontdekken aan het bij het naderen schijnbaar vergroten van de afstand tussen de achterlichten van het stilstaande voertuig. De afstand waarop dit snelheidsverschil op deze wijze kan worden ontdekt zal bij snelheden groter dan 120 km/h echter als regel kleiner zijn dan de benodigde remafstand. Ook een gevarendriehoek met de aanbevolen afmetingen en reflectie-eigenschappen zal in dit geval echter een te geringe herkenbaarheidsafstand opleveren. Deze afstand is namelijk voor een naderings-snelheid hoger dan circa 120 km/h, kleiner dan de afstand die nodig is om vóór het door de gevarendriehoek 'beveiligde' voertuig tot stilstand te komen.

Andere middelen dan de gevarendriehoek zouden daarom meer aanbeveling kunnen verdienen.

Een onderscheid tussen naast de rijbaan, bijvoorbeeld op de vluchtstrook, stilstaande voertuigen is eveneens aan te bevelen.

Middelen die overweging verdienen zijn:

1. Het, al dan niet in combinatie met het gebruik van de gevarendriehoek, automatisch doen **knipperen** van remlichten en/of richtingaanwijzers bij stilstand **op de rijbaan**, eveneens ongeacht of dit bij daglicht, openbare verlichting of duisternis het geval is. Het gebruik van dit middel is overigens thans reeds toegestaan bij nacht en bij zichtbelemmerende omstandigheden overdag (RVV art. 69 lid 1).

2. Het gebruik van de **gevarendriehoeken**, voor de situaties waarin een voertuig **in de berm of op de vluchstrook** staat, ongeacht of dit bij daglicht, openbare verlichting of duisternis het geval is.

Wanneer een stilstaand voertuig meer dan één rijbaan blokkeert, is een waarschuwing voor bestuurders uit één der rijrichtingen onvoldoende. Deze situatie doet zich voor bij min of meer dwars over de weg geraakte vrachtwagens met aanhanger. In een aantal landen is dan het gebruik van twee gevarendriehoeken verplicht gesteld. Het doen knipperen van remlichten, richtingaanwijzers en koplichten, het plaatsen van rode lampen of fakkels en/of de aanwezigheid van retroflecterend materiaal op de zijkanten van voertuigcombinaties lijken voorlopig betere oplossingen.

HET ONDERZOEK

Verklaring van de gebruikte symbolen

- q = detectie-afstand, dit is de afstand waarop een snelheidsverschil met een (stilstaand) voertuig kan worden onderkend (m)
- p = breedte van een voertuig (m)
- v = snelheid van een voertuig (m/sec)
- α = beeldhoek van een voertuig of van een gevarendriehoek op een afstand q (graden of rad)
- Δq = verplaatsing van het naderende voertuig in een tijd Δt (m)
- $\Delta \alpha$ = verandering in de beeldhoek, bij een verplaatsing Δq
- Δt = (waarnemings)tijd (sec)
- $\frac{\Delta \alpha}{\Delta t}$ = de snelheid waarmee de beeldhoek verandert
- RT = reactietijd (van voertuig en bestuurder) (sec)
- a = remvertraging (m/sec²)
- D = remafstand (m)
- E_{Δ} = verlichtingssterkte op de gevarendriehoek (lux)
- E_o = verlichtingssterkte op het oog van de waarnemer (lux)
- r = reflecterend vermogen (van de gevarendriehoek) (cd/m² per lux)
- O = reflecterend oppervlak (van de gevarendriehoek) (m²)
- z = lengte van de zijden van de driehoek (m)
- b = breedte van de zijden van de driehoek (m)

- u = afrondingsstraal van de hoeken van de gevarendriehoek (m)
- I = lichtsterkte (cd)
- R = distale (zichtbaarheids-, respectievelijk herkenbaarheids-)afstand (van de gevarendriehoek) (m)
- L_s = omgevingshelderheid (= sluiertiluminantie geleverd door twee asymmetrische dimlichten) (cd/m²)
- L_{Δ} = helderheid van de driehoek (cd/m²)
- Θ = beeldhoek van de afstand tussen de verblindende lichtbron en het waarnemingsobject (de gevarendriehoek) (graden of rad)
- K = variabele, afhankelijk van onder meer Θ en de leeftijd van de waarnemer
- n = variabele, afhankelijk van Θ
- d = laterale afstand (tussen gevarendriehoek en dimlicht) (m)
- ΔL = (voor de zichtbaarheid minimaal benodigd) verschil in luminantie (tussen waarnemingsobject en omgeving) (cd/m²)
- W = belasting (in het aerodynamisch drukpunt van de driehoek) (kgf)
- F_g = frontaal oppervlak van een gesloten driehoek (m²)
- F_o = frontaal oppervlak van een open driehoek (m²)
- V = luchtsnelheid (m/sec)
- C_w = luchtweerstandscoefficiënt
- ρ = luchtdichtheidsconstante (kg/m³)
- l = lengte van het voetstuk van de gevarendriehoek (m)
- μ = wrijvingscoëfficiënt tussen gevarendriehoek en wegdek
- G = gewicht van de driehoek (kg)
- h_d = hoogte van het drukpunt van de aerodynamische kracht (m)
- h_{Δ} = hoogte van de driehoek (m)
- γ = hoek tussen de aanstromingsrichting en de kantelrichting (van de gevarendriehoek) (rad)
- s = arm van het gewicht t.o.v. de kantelribbe (van de driehoek) (m)

1 Het ontdekken en beoordelen van snelheidsverschillen tussen voertuigen

Indien twee voertuigen die in dezelfde richting rijden elkaar naderen dient de bestuurder van de 'achterligger' te bepalen of de 'voorligger' in zijn baan is gelegen, respectievelijk dient hij het eventuele aanwezige verschil in snelheid tussen beide voertuigen te ontdekken en te interpreteren.

Overdag en bij duisternis op wegen met openbare verlichting kan de beoordeling of de voorligger al dan niet in de eigen baan is gelegen, geschieden door het waarnemen van de positie van de voorligger ten opzichte van de markering van de rijstrook.

In het geval de voorligger zich bevindt op de vluchtstrook of in de berm van de weg, zal waarneming van deze positie tevens informatie kunnen geven over het al dan niet in beweging zijn van de voorligger.

Bij duisternis op wegen zonder openbare verlichting en overdag bij zichtbelemmerende omstandigheden, is deze positie van de voorligger niet onmiddellijk waarneembaar, wegens het ontbreken van zichtbare referenties met de omgeving.

In het geval een bestuurder een in de baan van zijn voertuig aanwezig stilstaand voertuig nadert, dient de bestuurder dit voertuig op een zodanige afstand te kunnen waarnemen, dat een botsing kan worden voorkomen. Dit kan geschieden door tijds snelheid te minderen en/of een laterale verplaatsing in te zetten.

Een noodzakelijke voorwaarde hiertoe is zichtbaarheid van het voorliggende voertuig. Zichtbaarheid alleen is echter niet voldoende voor het waarnemen van het al dan niet in beweging zijn van dat voertuig.

Het beoordelen of het voorliggende voertuig al dan niet in beweging is kan door de naderende bestuurder geschieden door het waarnemen van aanwijzingen als:

1. De al of niet veranderende positie van de voorligger ten opzichte van vaste referenties, zoals bijvoorbeeld bomen in de wegberm.

Overdag zal het gebruiken maken van dergelijke referenties vaak mogelijk zijn; alleen als zij te ver van de rijbaan zijn verwijderd, of de structuur van de bermen te egaal is, zal dit moeilijkheden opleveren.

Bij duisternis zullen de referenties als regel niet voldoende zichtbaar en/of localiseerbaar zijn.

2. De aan- of afwezigheid van licht- en schaduwwisselingen op de voorligger; zichtbaar voor de bestuurder van het naderende voertuig.

Dergelijke licht- en schaduwwisselingen kunnen zowel overdag als 's nachts voorkomen; des nachts bijvoorbeeld als gevolg van openbare verlichting. Deze

aanwijzingen zal de bestuurder echter als regel niet bijtijds kunnen ontwaren en interpreteren.

3. Het al of niet aanwezig zijn van verticale bewegingen van het voorliggende voertuig bij het rijden op oneffen wegdekken ('dansen' of hobbelen').

Dergelijke aanwijzingen zullen zowel 's nachts als overdag meestal evenmin van voldoende afstand waarneembaar zijn.

Geconcludeerd kan worden dat bij duisternis in de meeste gevallen de bestuurder van een voertuig die een voorligger nadert, het al of niet stilstaan ervan niet zonder meer zal kunnen ontwaren.

Wanneer ervan wordt uitgegaan dat het waarnemen van een verschil in snelheid tussen twee voertuigen, die elkaar bij duisternis naderen, is te beschrijven als functie van de, voor de bestuurder van de achterligger, schijnbare vergroting van de afstand tussen de achterlichten van het voorliggende voertuig (afbeelding 1), dan kan een relatie worden afgeleid tussen de detectie-afstand en de snelheid van het naderende voertuig (afbeelding 2).

Daar de voertuigbreedte p zeer klein is ten opzichte van de detectie-afstand q en dientengevolge ook α en $\Delta\alpha$ zeer kleine waarden hebben, geldt bij benadering $\operatorname{tg} \alpha = \alpha$ en ook $\operatorname{tg} (\alpha + \Delta\alpha) = \alpha + \Delta\alpha$.

$$\Delta\alpha = \frac{p}{q - \Delta q} - \frac{p}{q} = \frac{p \cdot q \Delta}{q^2 - q \Delta q} \quad (1.1)$$

Wanneer het naderende voertuig met een constante snelheid v rijdt, geldt:

$$v = \frac{\Delta q}{\Delta t}, \text{ dus } \Delta q = v \cdot \Delta t$$

Substitutie in (1.1) geeft

$$\Delta\alpha = \frac{p \cdot v \cdot \Delta t}{q^2 - q \cdot v \cdot \Delta t}$$

waaruit volgt:

$$\frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = \frac{p \cdot v}{q^2 - q \cdot v \cdot \Delta t} \quad (1.2)$$

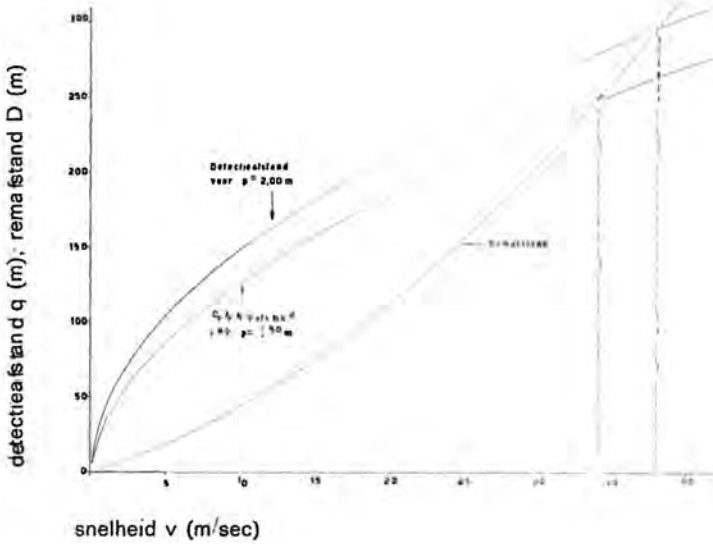
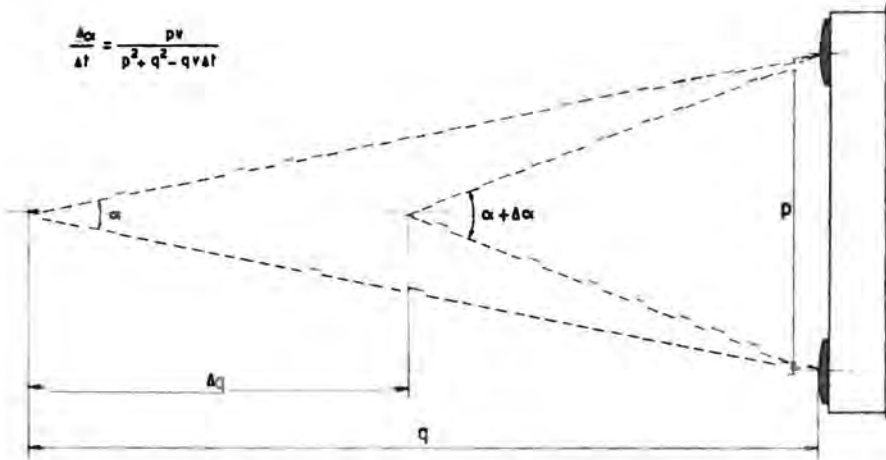
Het is niet mogelijk een willekeurig kleine toename van de beeldhoeken, en dus ook niet van de snelheid waarmee de beeldhoek toeneemt, waar te nemen. De drempelwaarde van de beeldhoek bedraagt gemiddeld 0,0006 rad/sec. bij een redelijk helderheidscontrast tussen het obstakel en de omgeving, onder voorwaarde dat de waarnemer geen neventaken verricht (Graham, 1965).

Bestuurders van voertuigen verrichten echter wel neventaken, zoals het volgen van de weg, het ontdekken en interpreteren van verkeerstekens. Een drempelwaarde van 0,001 rad/sec zou voor hen een redelijke benadering kunnen zijn. De breedte van de meeste voertuigen is niet groter dan 2 m.

Bij nadering van een voorliggend voertuig is bij duisternis de afstand tussen de achterlichten van de voorligger maatgevend. Deze afstand is meestal niet kleiner dan 1,5 m.

Afbeelding 1. Detectie van het snelheidsverschil, door beoordeling van de verandering in de schijnbare vorm van grootte van een voertuig.

$$\frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = \frac{pv}{p^2 + q^2 - qv\Delta t}$$



Afbeelding 2. De detectieafstand (q) voor $p = 2,00$ m en voor $p = 1,50$ m en de remafstand D als functie van de snelheid v .

Substitutie in (1.2) van:

Δt = waarnemingstijd = 1 sec

$\frac{\Delta \alpha}{\Delta t}$ = drempelwaarde = 0,001 rad/sec

p = voertuigbreedte = 1,5 of 2 m

geeft:

$$v = \frac{0,001 q^2}{1,5 + 0,001 q}, \text{ resp. } v = \frac{0,001 q^2}{2 + 0,001 q} \quad (1.3)$$

Deze formules geven het verband aan tussen de afstand q waarop de bestuurder van een zich met snelheid v verplaatsend voertuig een snelheidsverschil met een stilstaand voertuig dat 1,5 m, respectievelijk 2 m breed is, als stilstaand kan herkennen, en de snelheid v .

Een kritieke situatie ontstaat als de detectie-afstand kleiner is dan de benodigde remafstand D .

Deze laatste is te benaderen volgens:

$$D = RT \cdot v + \frac{v^2}{2a} \quad (1.4)$$

Voor het reageren op onverwachte gebeurtenissen zoals het zien van een op de weg stilstaand voertuig zou een reactietijd RT van de bestuurder van 3 seconden niet uitzonderlijk behoeven te zijn. (Daarbij inbegrepen is de tijd die verloopt voordat het voertuig reageert op de handelingen van de bestuurder).

De wettelijke voorgeschreven minimum remvertraging a - op een droog en schoon wegdek - is voor personenauto's 5,2 m/sec².

Bij de meeste personenauto's wordt de maximum remvertraging echter niet alleen bepaald door de remmen, maar mede door de optredende wrijvingscoëfficiënt tussen band en wegdek, dus door de stroefheid van het wegdek.

De praktisch realiseerbare remvertragingen op een droog wegdek liggen in de orde van 7 m/sec²-10 m/sec².

De stroefheid van natte wegen is echter vaak aanzienlijk geringer dan die van droge wegen, waardoor de optredende wrijvingscoëfficiënt ook lager is.

Door het Rijkswegenbouwlaboratorium wordt een (rijks)weg met een stroefheid van 0,51 in natte toestand nog als voldoende stroef beoordeeld.

De door personenauto's realiseerbare remvertragingen zullen op zulk een wegdek circa 4 m/sec² bedragen.

Hoewel door bussen en vrachtwagens op een droog wegdek veelal lagere remvertragingen worden gehaald - de wettelijke eisen liggen hier respectievelijk bij 4,5 m/sec² en 4,0 m/sec² - zullen de remvertragingen op een nat wegdek (met goed afgestelde remmen) niet veel lager zijn dan die bij personenauto's.

Aangezien de rijksnelheden van bussen en vrachtwagens meestal geringer zijn dan die van personenauto's, is hier de situatie minder kritisch.

Het is daarom dan ook niet onrealistisch rekening te houden met een bereikbare remvertraging van 4 m/sec².

Substitutie van:

$$RT = 3 \text{ sec.}$$

$$a = 4 \text{ m/sec}^2$$

in de vergelijking voor de remafstand (1.4) geeft:

$$D = 3 v + \frac{v^2}{8} \quad (1.5)$$

De vergelijkingen (1.3) en (1.5) zijn grafisch weergegeven in afbeelding 2 (blz. 27). Uit de grafiek is af te leiden, dat de detectie-afstand voor $p = 1,5 \text{ m}$ voldoende kan zijn (namelijk groter dan de vereiste remafstand) bij snelheden tot 34 m/sec ($= 120 \text{ km/h}$).

Bij snelheden $v > 120 \text{ km/h}$ geldt echter $q < D$ en zal een snelheidsverschil met een stilstaand voertuig niet meer tijdig als zodanig kunnen worden herkend.

Conclusies

Uit het voorafgaande volgt de noodzaak voor een aanduiding van **op de rijbaan stilstaande** voertuigen, waaraan naderende bestuurders bijtijds dit kenmerk van die voertuigen kunnen herkennen.

Dit geldt niet alleen voor voertuigen die bij duisternis op een onverlicht of door kunstlicht onvoldoende verlichte weg stilstaan maar ook, hoewel in mindere mate, voor voertuigen die bij daglicht op de rijbaan stilstaan. Het geldt echter minder sterk voor voertuigen die dan in de berm of op de vluchtstrook stilstaan, in welke gevallen veelal het eventueel stilstaan aan de plaats van het voertuig, zou kunnen worden ontdekt. Wel dient nog te worden opgemerkt dat een dergelijke aanduiding geen afdoende oplossing geeft. De eerst-naderende bestuurder zou daarmee weliswaar tijdig gewaarschuwd kunnen worden voor het op de rijbaan stilstaande voertuig, maar daarmee nog niet de bestuurders van de daarop volgende voertuigen, die gelet op de volgafstanden tot hun voorligger, niet in alle gevallen een kop-staartbotsing met het voorliggende voertuig zullen kunnen voorkomen, in het geval de bestuurder van dat voertuig remt.

2 Het aantal botsingen met op de weg (op of naast de rijbaan) stilstaande voertuigen

Botsingen met op de rijbaan stilstaande voertuigen zijn niet afzonderlijk in de CBS-statistiek opgenomen. Op de rijbaan stilstaande voertuigen worden namelijk als 'rijdende voertuigen' geklassificeerd. Een deel van het totaal aantal botsingen met (op of naast de rijbaan) stilstaande voertuigen namelijk de gevallen waarin het voertuig op de rijbaan stilstaat, valt volgens de CBS-classificatie onder de categorie 'botsingen tussen rijdende verkeersmiddelen'.

Hierdoor vormen deze gegevens van het CBS een onderschatting van het werkelijke aantal botsingen met op de weg stilstaande voertuigen.

Alle voertuigen die naast de rijbaan stilstaan (in de berm of op een parkeerstrook of vluchtstrook) worden door het CBS als 'geparkeerd' geïnclassificeerd, ook de gevallen waarin voertuigen (behalve bussen) stilstaan voor het in- en uitladen van goederen of passagiers.

Door deze omstandigheid vormen de gegevens over het aantal botsingen tussen rijdende en geparkeerde verkeersmiddelen een overschatting van het aantal botsingen met stilstaande voertuigen, die volgens de huidige wettelijke regeling met een gevarendriehoek als zodanig zouden moeten zijn aangeduid.

De beschikbare gegevens zijn dus onvoldoende voor het bepalen van het juiste aantal botsingen met de op of naast de rijbaan stilstaande voertuigen. De omvang van dit type ongeval zal dan ook slechts op zeer grove wijze worden benaderd met het aantal 'botsingen tussen rijdende en geparkeerde verkeersmiddelen'. Tabel 1 geeft een overzicht betreffende de jaren 1960 t/m 1963. De cijfers van de volgende jaren hierover zijn onvolledig. Zij kunnen dan ook niet onderling worden vergeleken, zodat zij hier buiten beschouwing bleven.

Uit tabel 1 zijn de volgende conclusies te trekken:

- a) het totaal aantal 'botsingen tussen rijdende en geparkeerde verkeersmiddelen' zowel binnen als buiten de bebouwde kom (1960: 20.549; 1963: 29.850) bedraagt 10-15 % van alle ongevallen (1960: 177.469; 1963: 231.198);
- b) het aantal van dergelijke ongevallen **buiten** de bebouwde kom (1960: 1319; 1963: 1851) bedraagt 3-5 % van het totaal aantal verkeersongevallen **buiten** de bebouwde kom (1960: 31.608; 1963: 31.495);
- c) het aantal van dergelijke ongevallen **buiten** de bebouwde kom bij schemer en duisternis is circa 35 % van het totaal aan botsingen **buiten** de bebouwde kom.

Met voor 100 % doeltreffende maatregelen voor op of langs de rijbaan stilstaande voertuigen, zouden naar zeer grove schatting per jaar wellicht circa

Tabel 1. Het aantal ongevallen in Nederland, buiten en binnen de bebouwde kom en het aantal botsingen tussen rijdende en geparkeerde voertuigen.

N.B. In de CBS-statistiek van 1964 e.v. zijn deze cijfers niet opgenomen.

	Aantal ongevallen in Nederland	Buiten de bebouwde kom	Binnen de bebouwde kom	Aantal botsingen tussen rijdende en geparkeerde voertuigen	Waarvan buiten de bebouwde kom	
					bij daglicht	bij schemer en duisternis
1960						
dodelijk	1.839	1.020	819	45	7	16
met letsel	41.633	10.507	31.126	1.785	129	150
uitsl. schade	133.997	20.081	113.916	18.719	740	277
Totaal	177.469	31.608	145.861	20.549	876	433
1961						
dodelijk	1.877	1.058	819	65	17	24
met letsel	43.146	11.486	31.660	1.917	145	184
uitsl. schade	145.257	22.746	122.511	20.998	916	321
Totaal	190.280	35.290	154.990	22.980	1.078	529
1962						
dodelijk	1.956	1.066	890	45	5	15
met letsel	43.024	11.248	31.776	1.948	148	165
uitsl. schade	160.004	23.992	136.012	22.554	870	298
Totaal	204.984	36.306	168.678	24.547	1.023	478
1963						
dodelijk	1.899	1.066	823	53	5	22
met letsel	43.402	11.537	31.865	1.863	169	155
uitsl. schade	185.907	28.892	157.015	27.934	1.093	407
Totaal	231.198	41.495	189.703	29.850	1.267	584

2000 botsingen tussen rijdende en stilstaande voertuigen buiten de bebouwde kom kunnen worden vermeden.

In hoeverre een dergelijk resultaat kan worden benaderd met behulp van een waarschuwingssysteem als de gevarendriehoek is niet bekend. Ook het geven van een schattling ter zake is niet goed mogelijk, omdat hiertoe onrealistische aannamen zouden moeten worden gedaan, zoals:

- een systeem waarmee bestuurders worden gewaarschuwd voor op of langs de rijbaan stilstaande voertuigen, is voldoende voor het vermijden van botsingen met deze voertuigen;
- een vermindering van het aantal botsingen met op of langs de rijbaan stil-

staande voertuigen, gaat niet gepaard met een toename in het aantal botsingen van een ander type (zoals die tussen rijdende voertuigen onderling);
c) de gevarendriehoek is een aanduiding die, onder alle omstandigheden, een voldoende waarschuwend effect heeft.

In dit rapport zal wel worden nagegaan welke eisen aan de gevarendriehoek als waarschuwingssysteem voor op de weg stilstaande voertuigen kunnen worden gesteld, met uitzondering echter van de aspecten die betrekking hebben op:
a) de relatieve doeltreffendheid van gevarendriehoeken in vergelijking met andere waarschuwingssystemen, zoals bijvoorbeeld het automatisch en continu doen knipperen van de remlichten en/of de richtingaanwijzers;
b) de doeltreffendheid van gevarendriehoeken gemeten aan het verkeersongevallenpatroon voor en na invoering van de wettelijke regeling inzake de gevarendriehoek.

Teneinde de doeltreffendheid van de gevarendriehoek, zowel relatief ten opzichte van andere waarschuwingssystemen, als in termen van het na de wettelijke regeling eventueel verminderde aantal ongevallen, te kunnen nagaan is verder onderzoek noodzakelijk.

3 Wettelijke voorschriften inzake de gevarendriehoek

3.1

Artikel 78 van het Reglement Verkeersregels en Verkeerstekens (RVV) verplicht het gebruik van een rood re(tro)flecterende gevarendriehoek voor bestuurders van motorvoertuigen op meer dan twee wielen in de volgende situaties:

1. Indien van een stilstaand voertuig de voorgeschreven voor- of achterverlichting in het ongerede is moet dit voertuig bij donker buiten de bebouwde kom door de bestuurder worden aangeduid door een rood reflecterende driehoek, goed zichtbaar op de weg geplaatst op ongeveer 30 meter afstand van het voertuig;

a) in de richting van het achterop komende verkeer, indien de achterverlichting is uitgevallen en het voertuig rechts van de weg staat;

b) in de richting van het tegemoet komende verkeer, indien de voorverlichting is uitgevallen en het voertuig links van de weg staat.

2. Het vorige lid is van overeenkomstige toepassing, indien een voertuig, ook bij dag, op een zodanige plaats stilstaat dat het niet tijdig door andere bestuurders kan worden opgemerkt.

3. Onze minister kan nadere voorschriften geven omtrent de in het eerste lid bedoelde driehoek.

4. Bestuurders van motorvoertuigen op meer dan twee wielen moeten buiten de bebouwde kom een driehoek, als in het eerste lid bedoeld, in hun voertuig medevoeren.

3.2

De wetgever is er blijkbaar van uitgegaan dat de functie van de gevarendriehoek is: het verhogen van de opvallendheid van een stilstaand voertuig en niet dat de driehoek als middel dient om aan te geven dat het voertuig op de weg **stilstaat**.

Wanneer de voorgeschreven voertuigverlichting **niet** in het ongerede is, levert dit echter nog geen informatie over het al dan niet stilstaan van het betrokken voertuig. Met het oog op het bevorderen van de verkeersveiligheid is het dan ook wenselijk dat het gebruik van een waarschuwingssysteem als de gevaren-

driehoek niet beperkt blijft tot met in ongerede geraakte verlichting, op de weg stilstaande voertuigen.

3.3

Ook overdag zou het gebruik van een gevarendriehoek aanbeveling kunnen verdienen, met name voor op de rijbaan stilstaande voertuigen.

Het gebruik van een gevarendriehoek overdag te beperken tot de in art. 78 van het RVV thans genoemde situaties, lijkt daarom onvolledig.

Anderzijds geldt dat de gevarendriehoek of een soortgelijk waarschuwingssysteem niet als afdoende mag worden beschouwd voor **op de rijbaan** stilstaande voertuigen, zowel overdag als bij duisternis.

Tenslotte zij opgemerkt dat één aanduiding (i.c. de gevarendriehoek) zowel voor op de rijbaan, als voor naast de rijbaan (dus buiten de baan van de naderende bestuurders) stilstaande voertuigen, verwarrend kan zijn en snel zijn signaalwaarde kan verliezen.

3.4

De wetgever is er blijkbaar van uitgegaan dat voertuigen altijd hetzij links, hetzij rechts van de weg stilstaan. Niet uitgesloten is evenwel dat een voertuig stilstaat op meer dan één rijstrook.

Wanneer een dergelijk geval zich voordoet op een weg met gescheiden rijbanen is een waarschuwing nodig voor het achteropkomende verkeer en voldoet de huidige regeling.

Als echter het voertuig meer dan één rijstrook blokkeert op een weg zonder gescheiden rijbanen, is een waarschuwing voor bestuurders uit één de rijrichtingen niet voldoende.

Het laatste geval kan zich gemakkelijk voordoen met bijvoorbeeld autobussen en vrachtwagens (met aanhanger).

Een aantal landen (o.a. Spanje en Zuid-Afrika) heeft in dergelijke gevallen het gebruik van twee driehoeken verplicht gesteld.

4 De waarneembaarheid van gevarendriehoeken

4.1 Analytische benadering

4.1.1 Herkenbaarheidsafstand en remafstand

Als eis voor de waarneembaarheid van de gevarendriehoek geldt dat de driehoek voor een naderende bestuurder op een zodanige afstand herkenbaar dient te zijn, dat deze zijn voertuig tijdig kan stoppen voor het stilstaande voertuig. De afstand waarop de gevarendriehoek herkend kan worden dient dus tenminste gelijk te zijn aan de remafstand.

Wanneer de voertuigsnelheid v , wordt gekozen als de 85ste percentielwaarde van de verdeling van voertuigsnelheden op wegen met gescheiden rijbanen (= 120 km/h), voor a een waarde 4 m/sec^2 en voor $RT = 3 \text{ sec}$ wordt aangehouden (zie paragraaf 1.3) dan is de remafstand $D = 240 \text{ m}$, berekend volgens formule (1.4).

Op deze basis zou de herkenbaarheidsafstand van de bij het voertuig opgestelde gevarendriehoek dus tenminste 240 m moeten bedragen.

Als de gevarendriehoeken volgens het voorschrift in het RVV art. 78 op 30 m afstand van het stilstaande voertuig is geplaatst, zou een herkenbaarheidsafstand van 210 m voldoende kunnen zijn.

Een herkenbaarheidsafstand van 240 (210) m houdt in dat relatief zware eisen gesteld kunnen worden aan het reflecterend vermogen.

Dit bepaalt namelijk de verlichtingssterkte die door een door dimlichten aangestraalde gevarendriehoek op het vlak van het oog wordt teweeg gebracht. In hetgeen volgt zal de relatie tussen zichtbaarheidsafstand en reflecterend vermogen worden afgeleid.

4.1.2 Zichtbaarheidsafstand en reflecterend vermogen

Afbeelding 3 (blz. 36) geeft een schets van de situatie waarin een bestuurder van een naderend voertuig een op 210 m voor hem op de weg geplaatste gevarendriehoek waarneemt.

De lichtsterkte van twee goed ingestelde, asymmetrische dimlichten die aan de wettelijke voorschriften voldoen, in de richting van de gevarendriehoek bedraagt ongeveer 1200 cd. Deze waarde is als volgt bepaald: de maximaal toegelaten verlichtingssterkte op 25 m afstand in een richting recht voor het dimlicht (E_H) = 0,7 lux. Per lantaarn correspondeert dit dus met $0,7 \times 25^2 = 440 \text{ cd}$. Nu is een gevarendriehoek iets lager dan een normaal dimlicht, zodat per lantaarn met een iets hogere lichtsterkte (namelijk 600 cd) is gerekend. In gebruikstoestand kan

Afbeelding 3. Scheids van de situatie waarin een bestuurder van een naderend voertuig een op 210 m voor hem op de weg geplaatste gevarendriehoek waarneemt.



P = gevarendriehoek

L = koplamp voertuig

h_o = hoogte van het oog van de bestuurder ten opzichte van het wegdekoppervlak
(bij personenauto's 110 cm, bij vrachtwagens 150-200 cm)

h_k = hoogte van het koplamplicht ten opzichte van het wegdekoppervlak (75 cm)

β = hoek tussen waarnemingsrichting en aanstraalrichting
(bij personenauto's 5' à 6', bij vrachtwagens 10' à 20')

de waarde geringer blijken te zijn, bijvoorbeeld door vervuiling van de reflector en/of het glas).

Als de gevarendriehoek nu op 210 m van de koplampen staat, is de verlichtingssterkte circa $1200/210^2 = 0,027$ lux. Voor materiaal met een zeer slecht reflecterend vermogen van 10 cd/m² per lux zou de luminantie van de driehoek 0,27 cd/m² bedragen.

De luminantie van het wegdek ter plaatse is voor een vrij lichtgekleurd materiaal als beton in droge toestand, circa 0,001 cd/m², dus 270 maal kleiner dan de helderheid van de driehoek.

Zelfs als de gevarendriehoek een zeer goed (80 %) diffuus reflecterend wit oppervlak als achtergrond heeft, is het contrast **nog** zeer groot. Dit oppervlak zou een helderheid krijgen van $0,8/\pi \cdot 0,027 = 0,007$ cd/m², dat is nog altijd 40 maal kleiner dan de helderheid van de driehoek.

De luminantie van de achtergrond blijkt dus een te verwaarlozen invloed te hebben op de zichtbaarheid van de driehoek omdat het contrast steeds zeer groot is.

Het is daardoor mogelijk de zichtbaarheidsafstand te berekenen als functie van de hoeveelheid licht die in de richting van de waarnemer wordt teruggekaatst en de drempelwaarde voor de verlichtingssterkte op het oog van de waarnemer.

De relatie tussen zichtbaarheidsafstand R (in m) en reflecterend vermogen (in cd/m^2 per lux) van de gevarendriehoek zou te benaderen kunnen zijn volgens:

$$\begin{aligned}
 E_{\Delta} &= \frac{I}{R^2} \\
 L_{\Delta} &= r \cdot E_{\Delta} \\
 I_{\Delta} &= L_{\Delta} \cdot O = r \cdot E_{\Delta} \cdot O = \frac{r \cdot I \cdot O}{R^2} \\
 E_O &= \frac{I_{\Delta}}{R^2} = \frac{r \cdot I \cdot O}{R^4} \quad (4.1)
 \end{aligned}$$

Deze formule is uit de fotometrische afstandswet afgeleid. Hierbij is aangenomen dat de afstand die in de bij deze wet behorende formule gebruikt moet worden, identiek met de geometrische afstand tussen lantaarn + waarnemer en retroflector. Bovendien is aangenomen dat voor E_O een constante getalwaarde toe pasbaar is.

Is de waarde E_O hoger dan de drempelwaarde voor de verlichtingssterkte op het oog, dan is de driehoek zichtbaar. Internationaal wordt hiervoor bij signaallichten een drempelwaarde van $2 \cdot 10^{-7}$ lux aangehouden. Aangenomen is dat deze waarde ook toepasbaar is voor verkeerssituaties.

Eén asymmetrisch dimlicht, op 210 m gericht, heeft een waarde I van circa 600 cd. Voor twee koplampen dus 1200 cd.

Het werkzame retroflecterende oppervlak O van de (open) gelijkzijdige gevarendriehoek, met zijden van 45 cm lang en 5 cm breed, bedraagt 400 cm^2 . Voor een driehoek met de minimaal toegestane afmetingen $z = z_{\min} = 440 \text{ mm}$; $b = b_{\min} = 41 \text{ mm}$, bedraagt dit oppervlak 454 cm^2 . Worden de hoekpunten daarbij nog afgerond met een afrondingsstraal $u = \frac{1}{2} b_{\min} = 20,5 \text{ mm}$, en komt er bovendien per zijde één rechthoekige onderbreking van de maximale breedte (12 mm) voor, dan bedraagt het werkzame retroflecterende oppervlak 428 cm^2 .

Voor de keuringseisen (zie Bijlage B1) is het minimaal vereiste werkzame retroflecterende oppervlak bepaald op 400 cm^2 .

Deze waarde ingevuld in (4.1) geeft:

$$2 \cdot 10^{-7} = \frac{1200 \cdot 0,040 \cdot r}{R^4}$$

Hieruit volgt:

$$R = 125 \sqrt[4]{r} \text{ (in m)}$$

Voor een zichtbaarheidsafstand van 210 m zou r tenminste circa 8 cd/m^2 per lux dienen te bedragen.

4.1.3 Zichtbaarheidsafstand en verblinding

Een gevarendriehoek met een reflecterend vermogen van tenminste circa 8 cd/m^2 per lux, geplaatst op een onverlichte weg en aangeschreven door de (asymme-

trische) dimlichten van een naderend voertuig, zou dus door de bestuurder van dat voertuig op een afstand van circa 210 m kunnen worden gezien.

Als de bestuurder wordt verblind door de dimlichten van een tegenligger, zal deze afstand kleiner worden. Het effect van deze verblinding is te beschrijven als het optreden van een extra sluier in het gezichtsveld van de waarnemer. De luminantie van deze sluier is voor één lichtbron te benaderen door:

$$L_s = \frac{K \cdot E_o}{\Theta^n} \quad (4.2)$$

Voor $d \ll R$ kan Θ worden vervangen door $\frac{180}{\pi} \cdot \frac{R}{d}$.

Voor $\Theta > 1,5^\circ$ geldt volgens Hartmann en Moser (1968) $n = 2$, $K = 17,7 \pm 2,6$.

Substitutie in formule (4.2) van

$$K = 17,7$$

$$n = 2$$

$$\Theta = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{d}{R}$$

$$E_o = \frac{I}{R^2}$$

geeft

$$L_s = \frac{I}{186d^2} \quad (4.3)$$

Bij constante lichtsterkte en in het geval $d \ll R$, is de sluierluminantie dus onafhankelijk van de zichtbaarheidsafstand.

De (verblindings)sluierluminantie is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de laterale afstand tussen waarnemingsobject en de verblindende lichtbron, althans wanneer de distale afstand ten opzichte van deze laterale afstand, zeer groot is (tot maximaal de afstand behorend bij $\Theta = 1,5^\circ$).

De verminderde zichtbaarheid als gevolg van verblinding zal zich vooral voordoen op wegen zonder gescheiden rijbanen.

De breedte van dergelijke wegen bedraagt veelal niet meer dan $2 \times 3,6 = 7,2$ m. Dit houdt in, dat in de praktijk op deze wegen de afstand d_1 (de afstand tussen de gevarendriehoek en het rechterdimlicht van een tegenligger) circa 3 m zal zijn; afhankelijk van de breedte van het voertuig, zal de afstand d_2 (de afstand tussen de driehoek en het linkerdimlicht van een tegenligger) veelal 4 à 4,5 m bedragen.

4.14 Verblinding en reflecterend vermogen

Welke eisen moeten nu worden gesteld aan het reflecterend vermogen van de gevarendriehoek, opdat deze op voldoende afstand zichtbaar blijft bij de aanwezigheid van verblindende lichtbronnen? Uit formule (4.3) blijkt, dat de optredende sluierhelderheid L_s alleen afhankelijk is van de laterale positie van de

tegenligger en niet van de distale afstand tussen waarnemer en verblindende lichtbron.

De hoek θ tussen de rechter (verblindende) koplantaarn en de gevarendriehoek is voor $d_1 = 3$ m bij een distale afstand van 210 m tussen waarnemer en gevarendriehoek circa $50'$.

Door Hartmann en Moser (1968) zijn experimenten beschreven over fysiologische verblindings bij een zeer kleine hoek tussen de kijkrichting en de verblindingsbron. Voor $0,25^\circ < \theta < 1,5^\circ$ werd gevonden: $n = 3,5$ en $K = 50 \pm 6$.

Toegepast op de situatie van de gevarendriehoek geeft dit met $R = 210$ m; $I = 600$ cd per lantaarn; $d_1 = 3$ m; $d_2 = 4,5$ m, voor de gemiddelde sluiierhelderheid $L_s = L_{s_1} + L_{s_2}$:

$$L_{s_1} = \frac{50 \cdot 600}{210^2 (0,82)^{3,5}} = 1,36 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{s_2} = \frac{50 \cdot 600}{210^2 (1,22)^{3,5}} = 0,34 \text{ cd/m}^2$$

$$L_s = L_{s_1} + L_{s_2} = 1,70 \text{ cd/m}^2$$

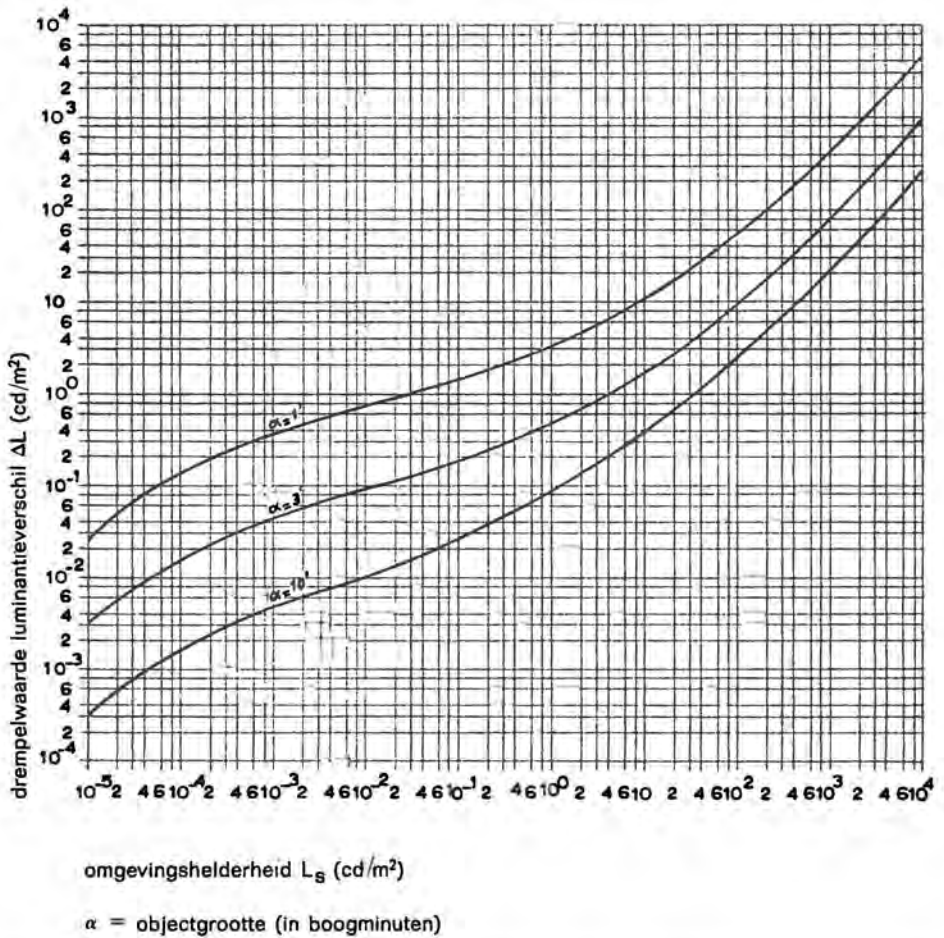
Het voor de zichtbaarheid minimaal benodigde verschil tussen de luminantie van de gevarendriehoek en de sluiierhelderheid kan uit afbeelding 4 (Adrian, 1965) worden geschat. Hierbij moet worden bedacht dat de sluiier zich zowel over de gevarendriehoek als over de directe omgeving uitbreidt. Dit wil zeggen dat de luminanties van de gevarendriehoek en de omgeving zoals de waarnemer deze ziet, beide een bedrag L_s hoger zijn dan de intrinsieke luminanties zoals die in feite ter plaatse van de objecten bestaan. De intrinsieke luminantie van de omgeving kan onder de hier beschreven omstandigheden gelijk aan nul worden gesteld, zodat het gezochte luminantieverschil tussen gevarendriehoek en omgeving gelijk is aan de intrinsieke - door de dimlichten van de waarnemer veroorzaakte - luminantie van de gevarendriehoek.

Voor de afmeting α (in hoekmaat) van de driehoek wordt genomen de diameter van een cirkel, die hetzelfde oppervlak heeft als de gevarendriehoek ($0,040 \text{ m}^2$). Dit geeft voor $R = 210$ m: $\alpha =$ circa $4'$.

Aangezien de adaptiehelderheid gelijk is aan de sluiierhelderheid, volgt uit afbeelding 4 (blz. 40) dat de luminantie van de driehoek tenminste circa $0,50 \text{ cd/m}^2$ groter dan de sluiierhelderheid zou moeten zijn, opdat de driehoek zichtbaar is. De lichtsterkte van twee asymmetrische koplantaarns in de richting van de gevarendriehoek bedraagt circa 1200 cd. De verlichtingssterkte op de gevarendriehoek op 210 m is dan circa $0,027$ lux. Het reflecterend vermogen van de gevarendriehoek, benodigd voor een zichtbaarheidsafstand van 210 m bij verblindings van de waarnemer door de dimlichten van de tegenligger, zou dan circa $0,500/0,027 = 18 \text{ cd/m}^2$ per lux moeten zijn (de luminantie van de omgeving is nul gesteld).

Verblinden de dimlichten van een tegenligger de waarnemer op een laterale afstand van 3 m, respectievelijk 4,5 m van de gevarendriehoek, dan zou het reflecterend vermogen van de driehoek dus tenminste 18 cd/m^2 per lux dienen te bedragen, wil de driehoek op 210 m nog zichtbaar kunnen zijn. Deze waarde zal echter te gering zijn voor de gevallen waarbij de afstand tussen de gevarendriehoek en de dimlichten van de tegenligger kleiner is dan 3 m.

Afbeelding 4. Drempelwaarde van het luminantieverschil (ΔL) als functie van de omgevingshelderheid (L_s) bij verschillende objectgrootten α (Adrian, 1965).



Voor een afstand $d_1 = 2$ m en $d_2 = 3$ m, zou reeds een reflecterend vermogen van circa $50 \text{ cd}/\text{m}^2$ per lux zijn vereist, wil de driehoek op 210 m zichtbaar zijn. Dergelijke gevallen kunnen zich in de praktijk voordoen als bijvoorbeeld de driehoek is geplaatst voor een rechts in een bocht stilstaand voertuig en de bestuurder die dit obstakel nadert verblind wordt door de dimlichten van een tegenligger.

4.1.5 Zichtbaarheid en herkenbaarheid

De berekeningen van het reflecterend vermogen werden gebaseerd op het criterium 'zichtbaarheid'.

Voor een doeltreffend functioneren van de gevarendriehoek is zichtbaarheid weliswaar noodzakelijk, maar niet voldoende. Bestuurders hebben immers vooral behoefte aan een gevaaraanduiding die zij onmiddellijk als zodanig herkennen. De herkenbaarheidsafstand wordt bepaald door de waarneming van specifieke details, alsmede de totaalindruk van het waarnemingsobject.

1. Aangenomen wordt dat het kunnen onderscheiden van een cirkelvormig object van 4,4 cm doorsnede (de minimaal toegestane breedte van de zijden van de gevarendriehoek), maatgevend is voor de herkenbaarheid van de driehoek. Het voor een herkenbaarheidsafstand van 210 m vereiste reflecterend vermogen, kan dan voor het geval de waarnemer wordt verblind door de dimlichten van een tegenligger op 3 m, respectievelijk 4,5 m afstand van de driehoek, als volgt worden berekend.

Wanneer voor de afmeting van het waarnemingsobject een cirkel wordt genomen met een diameter van 4,4 cm, dan bedraagt de afmeting in hoekmaat α op 210 m circa $0,8'$. Voor $\alpha = 0,8'$ en $L_S = 1,7 \text{ cd/m}^2$ (zie blz. 39) is $\Delta L = 4,5 \text{ cd/m}^2$. Dit levert op $r > 150 \text{ cd/m}^2$ per lux.

2. Bij de aanname dat het zichtbaar zijn van één der hoeken, maatgevend is voor de herkenning en wanneer voor de afmeting van het waarnemingsobject de diameter van een cirkel wordt genomen met een oppervlak gelijk aan (een driehoek met) $\frac{1}{3}$ van het totale retro reflecterende oppervlak van de gevarendriehoek, dan bedraagt $\alpha = 2,5'$. Voor deze waarde van α en voor $L_S = 1,7 \text{ cd/m}^2$ is $\Delta L = 1,2 \text{ cd/m}^2$ en $r = 1,2/0,027 = 44 \text{ cd/m}^2$ per lux.

3. Bij de aanname van de totaalindruk als maatgevend voor de herkenbaarheid, zou het voor de herkenbaarheid benodigde reflecterend vermogen gelijk zijn aan dat benodigd voor de zichtbaarheid van de totale driehoek (18 cd/m^2 per lux).

Een schatting van het voor de herkenbaarheid op 210 m vereiste reflecterend vermogen voor een afstand $d_1 = 3 \text{ m}$ en $d_2 = 4,5 \text{ m}$ tussen de gevarendriehoek en de twee dimlichten van een tegenligger, varieert dus tussen circa 18 en circa 150 cd/m^2 per lux, afhankelijk van de veronderstelde noodzakelijk zichtbare delen van de driehoek. Op basis hiervan is het aangeven van eisen voor het reflecterend vermogen van gevarendriehoeken dan ook niet mogelijk. **Geconcludeerd kan daarom worden dat slechts empirisch onderzoek naar de herkenbaarheid de benodigde gegevens kan opleveren.**

4.2 Empirische benadering

4.2.1 Doelstelling

Het doel van het onderzoek naar de waarneembaarheid van gevarendriehoeken was:

'Het verkrijgen van gegevens over de herkenbaarheidsafstand voor gevarendriehoeken zowel overdag, als 's nachts en gedurende de schemer, als functie van het reflecterend vermogen en van de plaatsing van de driehoek ten opzichte van de as van de weg.'

De uiteindelijke doelstelling was het opstellen van eisen voor het reflecterend vermogen waaraan de driehoek voor wat betreft de herkenbaarheid dient te voldoen. Het waarnemingsonderzoek dat in opdracht van de SWOV werd uitgevoerd door het Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO, was niet fundamenteel gericht, dus bijvoorbeeld niet op de relatie tussen herkenbaarheid van de driehoek en verblinding van de waarnemer. Hetgeen volgt in deze paragraaf is een samenvattend verslag van dit onderzoek. Een uitvoeriger verslag van dit onderzoek wordt gegeven in: Zichtbaarheid van gevarendriehoeken. Rapport 1967-C6, Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO, Soesterberg.

4.2.2 Opzet

Als testcondities voor de waarneembaarheid werden gekozen:

- a) daglicht;
- b) schemer, met een tegenligger die gedimd licht voert;
- c) duisternis (onverlichte weg) met een tegenligger die gedimd licht voert.

De proeven voor het bepalen van de herkenbaarheidsafstand vonden plaats op een buitentraject.

De gevarendriehoeken werden onder drie verschillende hoeken ten opzichte van de as van de weg geplaatst, namelijk onder 90° , 80° en 45° . Als dimlichten van een (pseudo)tegenligger fungeerden twee stationaire lichten die wat betreft intensiteit en bundeling voldeden aan de op het Europese vasteland internationaal aanvaarde normen voor asymmetrische dimlichten (de zogenaamde E-dimlichten). De laterale afstand d_1 tussen de gevarendriehoek en het (vanuit de waarnemer geziene) rechter licht was 2,9 m, de afstand d_2 tussen de driehoek en het linker licht was 4,1 m (gerekend vanuit het hart van de lantaarns).

De afstand tussen de twee lichten en de afstand tussen lichten en wegdek waren vergelijkbaar met die waarop bij personenauto's dimlichten zijn geplaatst.

Negen proefpersonen fungeerden als waarnemers in een auto, waarmee met een constante snelheid van 45 km/h, het traject werd bereden. Gedurende schemer en duisternis voerde deze auto twee ontstoken asymmetrische dimlichten.

Per waarnemer werd iedere driehoek éénmaal op negen verschillende plaatsen in het traject aangeboden. Dit gebeurde zowel bij daglicht als tijdens schemer en duisternis.

Op deze wijze werden negen verschillende gevarendriehoeken, welke begin 1967 in de handel waren, getest op hun herkenbaarheidsafstand.

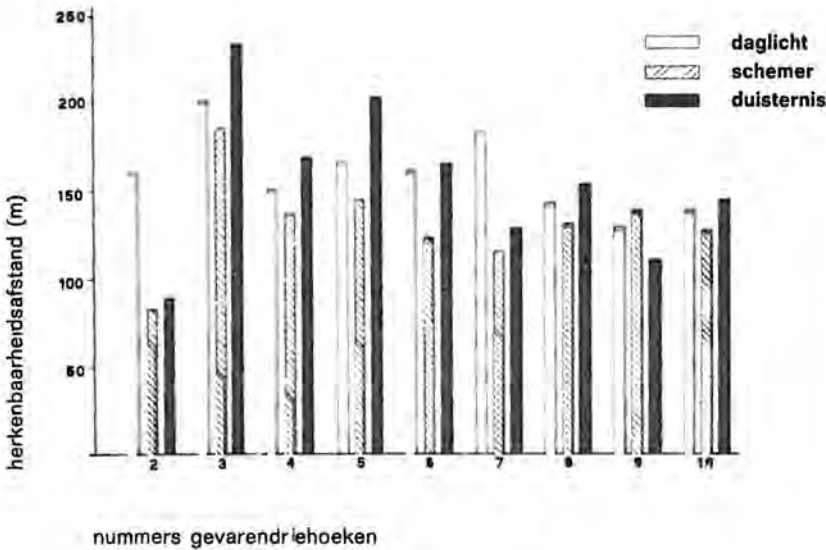
4.2.3 Herkenbaarheidsafstand bij daglicht, schemer en duisternis

Zes van de negen geteste driehoeken bleken bij duisternis op grotere afstand herkenbaar dan bij daglicht en schemer. Afbeelding 5 geeft hiervan een illustratie.

De herkenbaarheidsafstand overdag zou kunnen worden verhoogd door:

- a) het kiezen van grotere afmetingen voor gevarendriehoeken;
- b) het voorschrijven van een nog hoger reflecterend vermogen.

Afbeelding 5. Herkenbaarheidsafstand van gevarendriehoeken bij waarneming bij daglicht, schemer en duisternis (IZF-rapport 1967-C6).



c) het gebruik van retroflecterend materiaal bij duisternis en het gebruik van fluorescerend materiaal bij daglicht en schemer.

Het kiezen van grotere afmetingen voor gevarendriehoeken zou ten koste gaan van de hanteerbaarheid, met name door het dan vereiste grotere gewicht en/of de grotere vereiste afmetingen van het grondvlak ter verkrijging van de benodigde windstabiliteit (zie hoofdstuk 5).

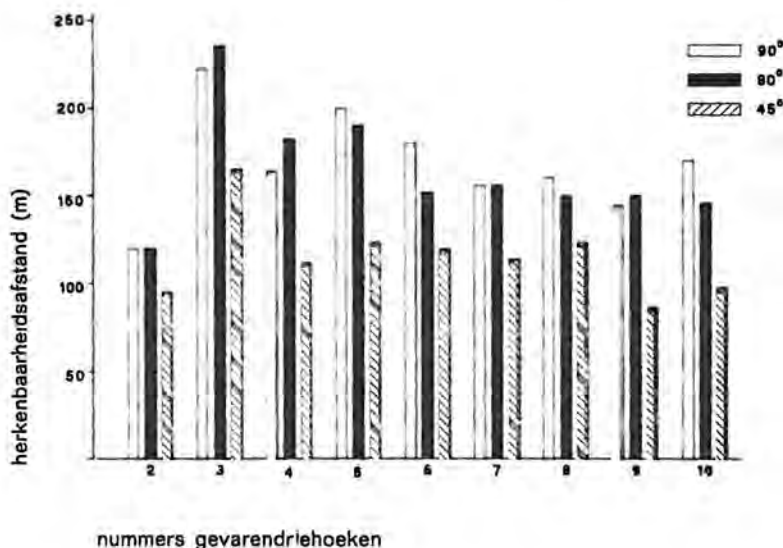
Voertuigen zullen zich meestal in geval het gebruik van een gevarendriehoek is voorgeschreven op de vluchtstrook of in de berm bevinden.

Wanneer het voertuig stilstaat op de rijbaan zal ook een op een afstand van 210 m herkenbare gevarendriehoek, of een soortgelijk waarschuwingssysteem, zowel 's nachts als overdag, niet voldoende zijn om kop-staartbotsingen tussen twee of meer naderende voertuigen te voorkomen. Vergroting van het reflecterend vermogen, en/of toepassing van een aanvullende strook rood fluorescerend materiaal, speciaal voor gebruik overdag, lijkt daarom enerzijds niet noodzakelijk, anderzijds geen afdoende oplossing.

4.2.4 De plaatsing op de weg

Uit het onderzoek bleek voorts dat alle beproefde gevarendriehoeken op een geringere afstand worden herkend, wanneer zij niet loodrecht ten opzichte van de as van de weg worden geplaatst.

Afbeelding 6. Herkenbaarheidsafstand van gevarendriehoeken als functie van de hoek van plaatsing ten opzichte van de weg (IZF-rapport 1967-C6).



Afbeelding 6 laat zien dat een verdraaiing van 10° ten opzichte van de positie loodrecht op de as van de weg nog niet veel invloed heeft, er is dus wel enige speling. Voor hoeken groter dan $\pm 30^\circ$ is de nadelige invloed op de herkenbaarheidsafstand echter wel aanwezig. Het is daarom gewenst de weggebruikers te instrueren de gevarendriehoek zoveel mogelijk loodrecht op de as van de weg te plaatsen.

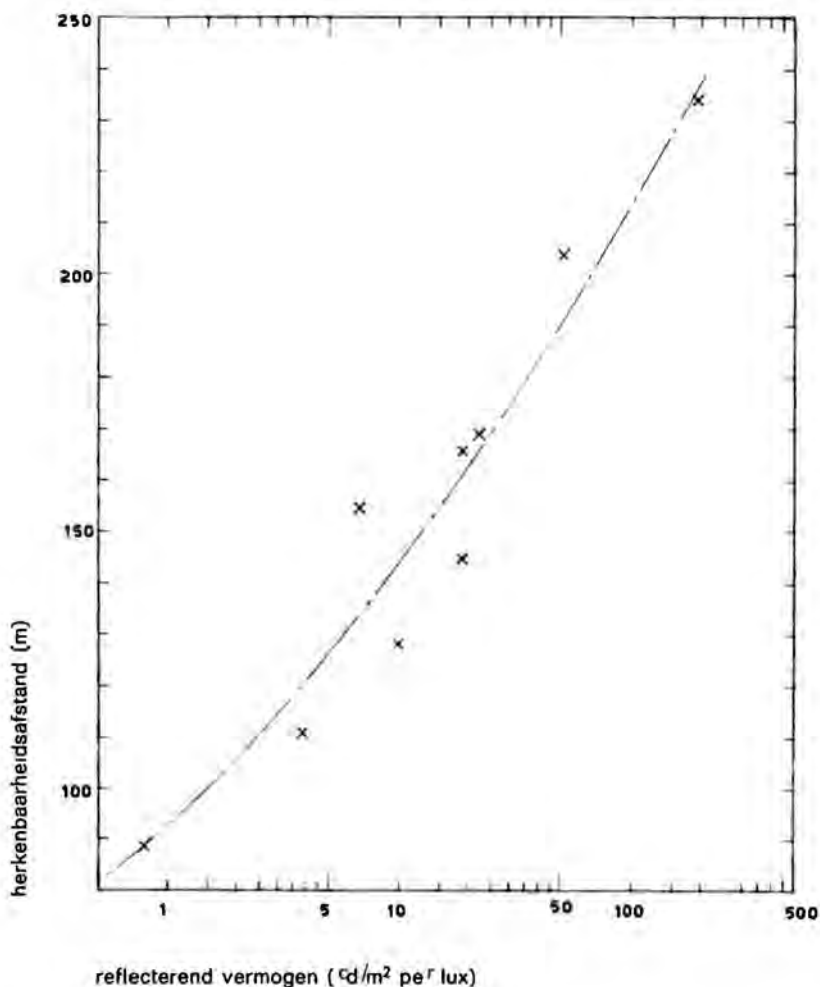
4.2.5 Herkenbaarheidsafstand en reflecterend vermogenⁿ

Afbeelding 7 geeft een relatie tussen de gemiddelde herkenbaarheidsafstand en het reflecterend vermogen van gevarendriehoeken, voor de situatie waarin de waarnemer wordt verblind door de dimlichten van een (pseudo)tegenligger die zich op een afstand van 2,9 m, respectievelijk 4,1 m naast de driehoek bevinden. De onderzochte driehoeken bleken onderling sterk te verschillen voor wat betreft de herkenbaarheidsafstand. Deze verschillen corresponderen met het verschil in reflecterend vermogen.

Voor een herkenbaarheidsafstand van gemiddeld 210 m (zie paragraaf 4.1.1) blijkt uit afbeelding 7 een reflecterend vermogen van circa 90 cd/m^2 per lux te zijn benodigd.

Behalve verschillen in herkenbaarheidsafstand tussen de driehoeken onderling zijn hierin per driehoek tussen de verschillende waarnemers eveneens verschillen

aanwezig. Deze spreiding tussen proefpersonen, uitgedrukt als standaardafwijking, bedraagt circa $\frac{1}{3}$ tot $\frac{1}{4}$ van de herkenbaarheidsafstand als gemiddelde over alle proefpersonen (zie IZF-rapport). Het is evenwel aannemelijk dat deze verschillen voor een (groot) deel kunnen worden verklaard door verschillen in het beoordelingscriterium. Dit wil zeggen dat bij een gelijke mate van zichtbaarheid (reflecterend vermogen) van de driehoek, de proefpersonen verschillen voor wat betreft hun beoordelingsmaatstaven voor de herkenbaarheid van de driehoek.



Afbeelding 7. Herkenbaarheidsafstand bij duisternis als functie van het reflecterend vermogen van de gevarendriehoek. Omgerekend voor een genormaliseerde meetprocedure.

4.3 Voor de zichtbaarheid geschatte en voor de herkenbaarheid geobserveerde waarden van het reflecterend vermogen

Met behulp van de in paragraaf 4.1.3 beschreven formules zijn berekeningen gemaakt van het naar verwachting benodigde reflecterend vermogen voor een aantal herkenbaarheidsafstanden. Hierbij werd steeds uitgegaan van de situatie in de praktijkproeven voor wat betreft de afstanden d_1 en d_2 (respectievelijk 2,9 m en 4,1 m) tussen de gevarendriehoek en de twee dimlichten van de tegenligger. Voor iedere herkenbaarheidsafstand is het reflecterend vermogen steeds berekend voor elk van de drie aannamen omtrent de voor de herkenbaarheid van de driehoek noodzakelijk zichtbare details, namelijk:

- a) de gehele driehoek, dat wil zeggen het totale retro reflecterende oppervlak (= 0,040 m²). Voor de berekening (zie afbeelding 4, blz. 40) werd dit oppervlak opgevat als dat van een cirkel (diameter: 0,23 m),
- b) een oppervlak, gelijk aan één van de drie 'punten' van de driehoek, dat wil zeggen $\frac{1}{3}$ deel van het totale retro reflecterende oppervlak. Voor de berekening (zie afbeelding 4) werd dit oppervlak opgevat als dat van een cirkel (diameter: 0,16 m);
- c) een oppervlak gelijk aan dat van een cirkel met een diameter gelijk aan de breedte van de zijden van de driehoek dat wil zeggen $\frac{1}{33}$ deel van het totale retro reflecterend oppervlak (diameter cirkel 0,041 m).

Tabel 2 geeft een overzicht van de verkregen waarden.

Bij de interpretatie van de in tabel 2 gegeven waarden dient te worden opgemerkt:

1. De 'geobserveerde waarden' zijn verkregen op basis van de 'best passende curve', bij de resultaten van de praktijkproeven, waardoor voor de herkenbaarheidsafstand van de individuele driehoeken onnauwkeurigheden kunnen optreden tot 25 % van de voor het reflecterend vermogen vermelde waarden.
2. Bij de vermelde gemiddelde herkenbaarheidsafstanden moet rekening worden gehouden met een spreiding tussen de waarnemers die, uitgedrukt als standaardafwijking, circa $\frac{1}{3}$ tot $\frac{1}{4}$ bedraagt van het gemiddelde.
3. De voor de reflectie 'verwachte waarden' zijn gemiddelden; de erbij behorende spreiding wordt bepaald door de in de berekeningsformule (4.2) voor K en n gekozen waarden.

Uit tabel 2 blijkt dat, uitgaande van een aantal aannamen vooraf, het onderscheiden van een detail van de driehoek met een oppervlak groter dan 3 % en geringer dan 33 $\frac{1}{3}$ % van het totale oppervlak voor het herkennen van gevarendriehoeken voldoende kan zijn.

Het is te berekenen dat het minimaal onderscheidbare detail (afhankelijk van het reflecterend vermogen) een grootte (in hoekmaat) van 1 tot 5 boogminuten dient te hebben wil de driehoek met een bepaald reflecterend vermogen, herkenbaar zijn op de corresponderende afstand.

Tabel 3 geeft een illustratie. De waarden voor α in deze tabel zijn verkregen als volgt:

			Beschouwde gedeelte van het totale retroflecterende oppervlak									
			100 % ≈ (Ø cirkel = 0,23 m)			33 1/3 % ≈ (Ø cirkel = 0,16 m)			3 % ≈ (Ø cirkel = 0,041 m)			r _{obs} (cd/m ² per lux)
R (m)	L _s (cd/m ²)	E (lux)	α (bgmin)	ΔL (cd/m ²)	r _{exp} (cd/m ² per lux)	α (bgmin)	ΔL (cd/m ²)	r _{exp} (cd/m ² per lux)	α (bgmin)	ΔL (cd/m ²)	r _{exp} (cd/m ² per lux)	
234	2,37	0,022	3,5	0,70	35	2,5	1,4	64	< 1	> 5,0	> 250	189
210	2,01	0,027	4	0,55	20	2,5	1,3	47	< 1	> 4,5	> 150	90
204	1,91	0,029	4	0,50	17	3	0,65	22	< 1	> 4,0	> 130	75
200	1,86	0,030	4,5	0,45	15	3	0,6	20	< 1	> 4,0	> 120	70
150	1,21	0,053	5	0,30	6	3,5	0,4	9	< 1	> 3,5	> 70	14
100	0,66	0,120	8	0,15	1	5,5	0,2	1,7	1,5	1,5	2,5	1,5

Tabel 3. Het voor de herkenning van de driehoek minimaal vereiste onderscheidbare detail (in hoekmaat α en in diameter \emptyset).

R (m)	E (lux)	r (cd/m ² per lux)	ΔL (cd/m ²)	L_s (cd/m ²)	α (b g/min)	\emptyset (m)
234	0,022	189	5,76	2,37	1	0,070
210	0,027	90	2,43	2,01	1,3	0,072
200	0,030	70	2,10	1,91	1,5	0,078
150	0,053	14	0,74	1,21	2	0,089
100	0,120	1,5	0,18	0,66	5	1,140

Gegeven: R, E en r_{obs} ; ΔL volgt dan uit: $r = \frac{\Delta L}{E}$; L_s is bekend.

Met behulp van afbeelding 4 (blz. 40) kan α worden bepaald uit L_s en ΔL .

Uit tabel 3 blijkt dat naarmate ΔL (c.q. het reflecterend vermogen) groter is, het kunnen onderscheiden van een relatief kleiner detail voldoende kan zijn voor het herkennen van de driehoek.

Wanneer ook ten aanzien van de gevarendriehoek geldt dat, ook bij een zeer grote L, voor het onderscheiden van details een afmeting van tenminste circa $\frac{1}{2}$ boogminuut noodzakelijk is (zie Graham, 1965), dan zou de maximaal te bereiken herkenbaarheidsafstand circa 250 à 300 m bedragen in het geval de waarnemer wordt verblind door de dimlichten van een tegenligger (op 2,9 m, respectievelijk 4.1 m afstand tot de driehoek) bij de aanname dat het onderscheiden van een detail van deze afmeting, voldoende is voor het herkennen van de driehoek. Daarvoor zou dan een reflecterend vermogen van naar schatting 300 à 600 cd/m² per lux benodigd zijn. **Bij een reflecterend vermogen hoger dan deze waarde, zou het vergroten van de herkenbaarheidsafstand dan nog slechts mogelijk zijn door het kiezen van grotere afmetingen van de driehoek.**

4.4 Het vereiste reflecterend vermogen

4.4.1 Bij duisternis

Gevarendriehoeken met een reflecterend vermogen van 90 cd/m² per lux, zullen bij duisternis gemiddeld op een afstand van 210 m herkenbaar zijn, in het geval de bestuurder van een naderend voertuig dat dimlichten voert, wordt verblind door de dimlichten van één tegenligger. Voorwaarden zijn dan evenwel:

1. Er dienen geen andere objecten dan de gevarendriehoeken te worden ontdekt en herkend. Alleen wanneer aan deze conditie is voldaan zal de herkenbaarheidsafstand, die als regel kleiner is dan de zichtbaarheidsafstand, overeenkomen met de zichtbaarheidsafstand.

Aan deze conditie zal evenwel in de praktijk veelal niet zijn voldaan. Om deze reden zal voor de herkenbaarheidsafstand van 210 m een reflecterend vermogen hoger dan 90 cd/m^2 per lux zijn vereist.

2. De zijdelingse afstand tussen het dichtst bij de gevarendriehoek gelegen dimlicht van de tegenligger en de gevarendriehoek dient tenminste 3 m te bedragen. Bij een geringere zijdelingse afstand neemt de verblinding die de bestuurder die de driehoek nadert, ondervindt van de dimlichten van de tegenligger, toe. Een hoger reflecterend vermogen is dan vereist voor een herkenbaarheidsafstand van 210 m.

Een zijdelingse afstand geringer dan 3 m is niet uitzonderlijk bijvoorbeeld vlak voor of in bochten. (Het stilstaan van voertuigen in dergelijke situaties zou alleen daarom reeds te allen tijde dienen te worden vermeden.)

3. Een afstand tussen (het hart van) de dimlichten van de tegenligger van tenminste 1,20 m. Voor sommige smalle voertuigen zal deze afstand kleiner zijn dan 1,20 m, waardoor een gevarendriehoek met een reflecterend vermogen van 90 cd/m^2 per lux, die is geplaatst op circa 3 m naast deze tegenligger, niet op 210 m zichtbaar zal zijn.

Geconcludeerd kan daarom worden dat voor gevarendriehoeken een reflecterend vermogen hoger dan 90 cd/m^2 per lux is aan te bevelen.

In West-Duitsland geldt de eis dat dit tenminste 125 cd/m^2 per lux moet bedragen. Deze waarde lijkt ook voor Nederland aanvaardbaar.

4.4.2 Bij daglicht en schemer

De herkenbaarheidsafstand van gevarendriehoeken bij daglicht en schemer is geringer dan die bij duisternis. Deze zou kunnen worden verbeterd door vergroting van het retroflecterend oppervlak en/of het reflecterend vermogen van de driehoek en/of door het aanbrengen van een aanvullende strook rood fluorescerend materiaal, bijvoorbeeld aansluitend op het retroflecterend materiaal op de opstaande zijden van de driehoek. De noodzaak hiertoe lijkt evenwel niet groot, omdat enerzijds voertuigen die overdag naast de rijbaan stilstaan (bijvoorbeeld op de vluchtstrook of in de berm) veelal aan deze positie als stilstaand zullen kunnen worden herkend. Anderzijds geldt dat ook overdag voor voertuigen die op de rijbaan stilstaan, een waarschuwingssysteem zoals de gevarendriehoek, niet afdoende zal zijn voor het vermijden van kop-staartbotsingen tussen voertuigen die bij nadering van een stilstaand voertuig worden afgeremd.

4.4.3 In de toekomst

Als in de toekomst hogere voertuigsnelheden zullen voorkomen zal het thans voorgestelde reflecterend vermogen voor gevarendriehoeken (125 cd/m^2 per lux) een te geringe herkenbaarheidsafstand opleveren, gelet op de bij de hogere gereden snelheid benodigde grotere remafstand.

5 De windstabiliteit van gevarendriehoeken

Tengevolge van windstoten en/of luchtwervelingen achter voorbijrijdende voertuigen kan de gevarendriehoek verschoven ofwel omver geworpen worden. De driehoek zal dan niet alleen geen dienst meer doen maar kan zelfs gevaar opleveren als obstakel. Er dienen dus ook ten aanzien van de stabiliteit eisen geformuleerd te worden waaraan de gevarendriehoek moet voldoen. Deze eisen kunnen worden afgeleid uit de vergelijking voor de aerodynamische belasting op een in een luchtstroom geplaatst lichaam en uit de vergelijkingen voor het statisch evenwicht van een lichaam ten aanzien van schuiven, respectievelijk kantelen.

Uit meteorologische gegevens blijkt dat zodanige windsnelheden kunnen voorkomen dat stabiliteit van de gevarendriehoek niet volledig gegarandeerd kan worden. Het stabiliteitscriterium dient derhalve zo geformuleerd te worden, dat de kans op onstabiliteit voldoende klein is.

Een redelijke eis vanuit de meteorologische gegevens lijkt dan dat de kans op onstabiliteit van de gevarendriehoek wordt beperkt tot die weersomstandigheden die, landelijk gezien, zich gemiddeld niet vaker dan een maal per jaar voordoen. Volgens de gegevens in tabel 4 leidt dit tot de voorwaarde dat de gevarendriehoek bij de bovengrens van windkracht 11 nog stabiel blijft. (De gegevens van De Bilt zijn meer representatief voor het landelijk gemiddelde dan die van Den Helder).

5.1 De belasting op de gevarendriehoek ten gevolge van luchtstroming

De belasting die door de luchtstroming op de driehoek wordt uitgeoefend kan worden berekend met de vergelijking

$$W = \frac{C_w \cdot F \cdot \rho \cdot V^2}{2} \quad (5.1)$$

Het frontaal oppervlak F en de luchtweerstandscoefficiënt C_w van een gevaren-

Tabel 4. Frequentie van voorkomen van windsnelheden in Nederland (bij waarnemingen 6 m boven de grond).

Windkracht in graden Beaufort	Windsnelheid in m/sec	Aantal sterkste windstoten gedurende tijdvakken van 1 uur (per 10.000 uur)	
		Den Helder	De Bilt
9	20,8—24,4	296	22
10	24,5—28,4	113	4
11	28,5—32,6	31	0,5
12	32,7 en hoger	12	—

driehoek worden bepaald door de vormgeving, die weer door functionele eisen als waarneembaarheid en herkenbaarheid bepaald wordt.

De in rekening te brengen luchtsnelheid V moet afgeleid worden uit beschikbare meteorologische gegevens, respectievelijk uit de aanwezige aerodynamische kennis met betrekking tot stromingsnelheden in wervelingen rond lichamen die zich in een stromend medium bevinden, aangezien geen directe meetgegevens voorhanden zijn.

Voor de luchtdichtheidsconstante ρ mag de waarde aangehouden worden die voor de standaardatmosfeer geldt.

5.1.1 De luchtsnelheid

Gegevens over windsnelheden in de onderste luchtlaag tot een halve meter boven de grond zijn niet beschikbaar. Meteorologische waarnemingen worden gedaan in vaste meetpunten op 6 meter boven de grond. De daaruit verkregen gegevens zijn niet ongecorrigeerd bruikbaar voor de bepaling van voorwaarden met betrekking tot de stabiliteit van de gevarendriehoek omdat de windsnelheid (mede) afhankelijk is van de hoogte boven de grond.

Uit de beschikbare gegevens kan door middel van de volgende overweging een redelijke schatting van de in rekening te brengen luchtsnelheid worden gemaakt. Uit de stromingsleer is bekend dat, bij stromingen langs vaste lichamen, in de grenslaag van het stromende medium een snelheidsgradiënt optreedt. Deze is zodanig dat in het grensvlak tussen het stromend medium en daarin voorkomende lichamen geen snelheidssprong optreedt. Ook in atmosferische stromingen is dit verschijnsel geconstateerd onder andere in de nabijheid van het aardoppervlak. Bij een zuiver laminaire stroming is de snelheidsgradiënt constant, zodat de snelheid in de stroming toeneemt evenredig met de afstand tot de wand. Het aardoppervlak vertoont evenwel allerlei oneffenheden. Deze veroorzaken plaatselijke versnellingen in de luchtstroming, waardoor het lineaire verloop van de luchtsnelheid ter plaatse verstoord wordt. Bij turbulente stromingen langs wanden treedt eveneens een snelheidsgradiënt op, die echter meer van invloed is op de gemiddelde snelheid in de luchtstroming dan op de grootte van de snelheidsfluctuaties.

De bovengrens van windkracht 11, die als stabiliteitscriterium gekozen is, stemt overeen met een luchtsnelheid van 32,6 m/sec (6 m boven het maaiveld).

Bij sterkteberekeningen voor vliegtuigen wordt gerekend met remoussnelheden van 20 m/sec. Dit zijn echter snelheidverschillen ten opzichte van de beweging van de omringende lucht. Het is redelijk aan te nemen dat de gemeten snelheden van 32,6 m/sec de som zijn van een gemiddelde snelheid en een snelheidsfluctuatie van ten hoogste 20 m/sec (vermoedelijk aanzienlijk minder).

Daar de gemiddelde snelheid als gevolg van de snelheidsgradiënt een aanzienlijke vermindering ondergaat en ook de snelheidsfluctuaties met de hoogte afnemen (voorzichtige schatting van deze afnamen 80 %, respectievelijk 20 %), kan dan voor de maximale windsnelheid op 0,5 m boven de grond een waarde van $0,2 \times 12,6 + 0,8 \times 20 = 18,5$ m/sec als een redelijke aanname worden beschouwd.

Naar de frequentie van voorkomen van windkrachten gerekend, zal de gevarendriehoek vrijwel uitsluitend in winderige kustgebieden, bijvoorbeeld bij Den Helder, met een grotere kracht worden belast. In uitzonderlijke gevallen (wervelstormen) kunnen ook in het binnenland hogere windsnelheden voorkomen.

Ook ten aanzien van stroomsnelheden die kunnen optreden in luchtwervelingen veroorzaakt door langsrijdende voertuigen zijn geen resultaten van metingen gevonden. Uit de stromingsleer is evenwel bekend dat de effectieve afmetingen van wervelingen in een tweedimensionele stroming om een vast lichaam van dezelfde orde van grootte zijn als de afmeting van dat lichaam loodrecht op de stromingsrichting, en bij een driedimensionele stroming over het algemeen aanmerkelijk kleiner. De absolute luchtsnelheden in dergelijke wervelingen zijn gemiddeld veel kleiner dan de luchtsnelheid in de ongestoorde stroming.

Een redelijke schatting op grond van eerder genoemde overwegingen is, dat de gemiddelde luchtsnelheden in wervelingen niet boven 15 m/sec komen.

Luchtwervelingen achter vrachtwagens en autobussen hebben een veel grotere uitgestrektheid dan die achter personenauto's. Dit als gevolg van het veel grotere frontale oppervlak, de grotere lengte en de veelal hoekige vorm van de eerstgenoemde voertuigen. Vrachtwagens en autobussen zijn daarom, ondanks hun gemiddeld lagere snelheid, belangrijker storingsbronnen dan personenauto's, te meer daar bij personenauto's meer aandacht aan de stroomlijn wordt besteed, juist om de luchtwervelingen te onderdrukken.

Rijsnelheden van 30 m/sec (= 108 km/h) zijn voor veel vrachtwagens en autobussen thans nog aan de hoge kant maar mogen toch niet als uitzonderlijk worden beschouwd.

Er dient rekening gehouden te worden met de mogelijkheid van het samenvallen van windstoten met het voorbijrijden van vrachtwagens of autobussen.

Het zou echter onjuist zijn beide effecten te superponeren. De toename van de turbulentie in een turbulente stroming rond een lichaam dat zich in de stroming bevindt, is kleiner naarmate de ongestoorde stroming turbulenter is.

Een kleine correctie ten opzichte van de berekende windsnelheid van 18,5 m/sec is dan ook voldoende. 20 m/sec lijkt een redelijke aanname. De mogelijkheden voor verificatie ervan komen in Bijlage B2 aan de orde.

5.1.2 Het frontale oppervlak van de driehoek

Uit de internationaal aanbevolen hoofdafmetingen van de driehoek is het frontale oppervlak F te berekenen.

Voor een gesloten driehoek geldt: (zie Bijlage: Keuringseisen voor gevaren-driehoeken, afbeelding B1, blz. 60).

$$F_g = 0,0872 \text{ m}^2 \text{ indien } z = 0,45 \text{ m.}$$

Voor een open driehoek geldt:

$$F_o = 0,0545 \text{ m}^2 \text{ indien } z = 0,45 \text{ m en } b = 0,05 \text{ m.}$$

5.1.3. De luchtweerstandscoefficiënt en de luchtdichtheidsconstante

Door het RAI-TNO Instituut voor Wegtransportmiddelen werd de luchtweerstandscoefficiënt C_w gemeten voor een open en een gesloten driehoek, zowel bij aanblazing frontaal als onder een invalshoek van 45° . De resultaten zijn in tabel 5 aangegeven.

Voor de standaardatmosfeer is de luchtdichtheidsconstante gelijk aan:

$$\rho = 0,125 \text{ kg/m}^3.$$

5.1.4 Berekening van de belasting op de driehoek

De luchtkrachten die op de driehoeken worden uitgeoefend bij frontale aanblazing W_0° en bij scheve aanblazing W_{45° kunnen nu berekend worden. De uitkomsten zijn gegeven in tabel 6.

C_w	aanblazing	
	frontaal	invalshoek 45°
open driehoek	1,8	1,3
gesloten driehoek	1,06	1,00

Tabel 5.

W	W_0°	W_{45°
open driehoek	2,18 kgf	1,77 kgf
gesloten driehoek	2,31 kgf	2,18 kgf

Tabel 6.

5.2 Verschuiven en kantelen

Een gevarendriehoek kan verschuiven, indien de luchtkrachten groter worden dan de maximale reactiekrachten die het wegdek door middel van wrijving op de gevarendriehoek kan uitoefenen.

De voorwaarden tegen verschuiven kunnen worden geformuleerd als:

$$W < \mu G \quad (5.2)$$

In deze vergelijking komen de afmetingen van het voetstuk niet voor. Dit komt overeen met het feit, dat de stabiliteit tegen schuiven niet van de vorm en de afmetingen van het voetstuk afhangt, maar uitsluitend van de frictie eigenschappen van het materiaal van het voetstuk ten opzichte van het wegdek.

Een gevarendriehoek kan kantelen indien het moment van de luchtkrachten ten opzichte van een mogelijke kantelribbe groter wordt dan het stabiliserend moment dat door het eigen gewicht van de gevarendriehoek ten opzichte van de kantelribbe geleverd wordt. De voorwaarde tegen kantelen kan worden geformuleerd:

$$W.h \cos \gamma < G.s \quad (5.3)$$

In deze vergelijking komt van de afmetingen van het voetstuk alleen de maat s voor. Dit stemt overeen met het feit, dat de stabiliteit tegen kantelen uitsluitend afhangt van de plaats van de hoekpunten van het voetstuk, maar niet van de contour. Afwijkende vormen van het voetstuk kunnen qua kwaliteit gelijkwaardig zijn (zie hiervoor bijvoorbeeld respectievelijk afbeeldingen 8 en 10, 9 en 11).

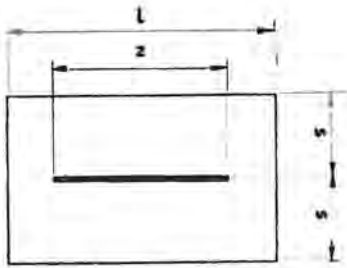
Daar de stabiliteit tegen verschuiven blijktens vergelijking (5.2) uitsluitend wordt bepaald door de wrijvingscoëfficiënt μ en het gewicht G van de gevarendriehoek, is zowel voor open als gesloten gevarendriehoeken de frontale aanblazing criteriek. Over de wrijvingscoëfficiënten μ van gevarendriehoeken zijn geen gegevens beschikbaar. Op grond van beschikbare cijfers betreffende wrijvingscoëfficiënten voor allerlei combinaties van materialen, mag worden aangenomen dat voor gevarendriehoeken de wrijvingscoëfficiënten kunnen liggen in een interval van 0,3 tot waarden groter dan 1.

Het gewicht dat nodig is om de stabiliteit tegen verschuiving te waarborgen kan berekend volgens de vergelijking (5.2) wanneer μ bekend is. De benodigde gewichten G zijn in tabel 7 gegeven voor enkele waarden van μ .

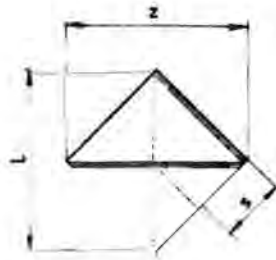
G _{min}	μ			
	0,3	0,5	0,8	1,0
open driehoek	7,3 kg	4,46 kg	2,73 kg	2,18 kg
gesloten driehoek	7,7 kg	4,62 kg	2,9 kg	2,31 kg

Tabel 7.

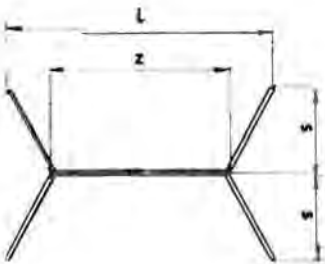
Afbeelding 8. Rechthoekig voetstuk voor een gevarendriehoek.
 Afbeelding 9. Ruitvormig voetstuk voor een gevarendriehoek.



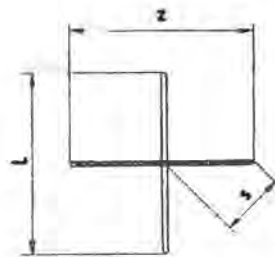
Figuur 8



Figuur 9



Figuur 10



Figuur 11

Afbeelding 10. Voetstuk voor een gevarendriehoek, waarvan de kantelribben een rechthoek vormen.

Afbeelding 11. Voetstuk voor een gevarendriehoek, waarvan de kantelribben een ruit vormen.

Uit deze tabel blijkt hoe belangrijk het is dat ter beperking van het gewicht grote aandacht besteed wordt aan de wrijvingscoëfficiënt. Bij een zorgvuldige uitvoering van het voetstuk is een waarde van $\mu = 0,8$ naar schatting voldoende voor alle wegdekken.

Wordt deze waarde van μ en de bijbehorende waarde van G aangenomen, dan kan men behulp van vergelijking (5.3) de minimumwaarde van s berekend worden, waarbij de gevarendriehoek stabiel is tegen kantelen.

De hoogte van het drukpunt zou in een zuiver homogene stroming samenvallen

met het zwaartepunt van de driehoek, namelijk op een derde van de hoogte van de driehoek. Doordat in de luchtstroming snelheidsfluctuaties voorkomen kan het drukpunt hoger komen te liggen. In het uiterste geval ligt dit theoretisch op de helft van de hoogte van de driehoek.

Dus: $4/12 h_{\Delta} < h_D < 6/12 h_{\Delta}$.

Er wordt derhalve geen grote fout gemaakt bij de aanname: $h_D = 5/12 h_{\Delta}$.

Voor het model met internationale afmetingen komt dit neer op: $h = 0,16$ m.

5.3 Voorbeelden

De praktische toepassing van de stabiliteitsvergelijkingen zal geïllustreerd worden aan de hand van enige typen gevarendriehoeken.

Hiervoor zijn gekozen een open en een gesloten driehoek van de internationaal aanbevolen afmetingen zonder afgeronde hoeken (zie Bijlage: Keuringseisen van gevarendriehoeken, afbeelding 1). Deze driehoeken worden achtereenvolgens op een rechthoekig en een ruitvormig voetstuk gemonteerd. Symmetrisch ten opzichte van dat voetstuk (zie afbeeldingen 8, 9, 10 en 11).

Voor het voetstuk volgens afbeelding 8 of afbeelding 10 is ten aanzien van kantelen frontale aanblazing het meest kritiek.

Aanblaasrichting en kantelrichting stemmen overeen, dus geldt $\cos \gamma = 1$.

Voor het voetstuk volgens afbeelding 9 of afbeelding 11 is ten aanzien van kantelen scheve aanblazing onder 45° het meest kritiek. Ook hier stemmen de aanblaasrichting en de kantelrichting overeen, dus geldt weer $\cos \gamma = 1$.

De waarden van s waarvoor stabiliteit tegen kantelen bereikt wordt, zijn gegeven in tabel 8.

Ten aanzien van de ruitvormige voetstukken kan nog worden opgemerkt, dat deze in de praktijk meestal overeenkomstig afbeelding 11 worden uitgevoerd, waarbij de diagonalen even lang zijn, zodat $s = \frac{1}{4} z \sqrt{2} = 0,16$ m.

Wanneer bij dit type G voldoende is voor de stabiliteit tegen schuiven, is automatisch s voldoende voor de stabiliteit tegen kantelen.

s	voetstuk	
	ruit	rechthoek
open driehoek	0,104 m	0,128 m
gesloten driehoek	0,121 m	0,128 m

Tabel 8.

Bij gevarendriehoeken met andere dan de genoemde voetstukken verloopt de stabiliteitsberekening in principe identiek. De stabiliteitsberekening ten aanzien van kantelen moet dan echter ten opzichte van elke mogelijke kantelribbe herhaald worden.

Literatuur

- Adrian, W.: **Experimentelle Untersuchung der Blendung durch Signallichten auf Wasserstrassen.** Lichttechnik 17 (1965) 9.
- Centraal Bureau v.d. Statistiek (CBS): **Statistiek van de verkeersongevallen op de openbare weg.** Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage. Jaarlijks.
- Commission Internationale de l'Eclairage (C.I.E.): **Resolutie van de 8e zitting.** Cambridge U.K. 1931.
- Economic Commission for Europa (E.C.E.): **Reglement nr. 3: Prescriptions uniformes relatives à l'homologation des dispositifs catadioptriques pour véhicules automobiles.** 20-3-1958.
- Graham, C. (ed): **Vision and Visual Perception.** John Wiley & Sons, Inc., New York-London-Sydney. 1965.
- Hartman, E. en Moser, E. A.: **Das Gesetz der physiologischen Blendung bei sehr kleinen Blendwinkeln.** Lichttechnik 20 (1968) 6: 67A—69A.
- Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO (A. Lazet, H. J. Leebeek, A. v. Meeteren): **Zichtbaarheid van gevarendriehoeken.** Rapport No. IZF 1967-C6.
- Keuringseisen voor reflectoren voor motorvoertuigen en lengtedriehoeken voor aanhangwagens en opleggers.** Ned. Staatscourant, 18 mei 1967, nr. 94.
- Nederlands Normalisatie-Instituut (NNI): **NEN 3381 Verkeerstekens, Algemene voorschriften voor borden.** dec. 1966.
- RAI-TNO Instituut voor Wegtransportmiddelen (J. C. Bastiaanse, J. v. de Weiden): **Gevarendriehoeken.** 1966.
- Reglement Verkeersregels en Verkeerstekens.** Kon. Besluit van 4 mei 1966 (stb. 181) (Art. 78). Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage. 1969.

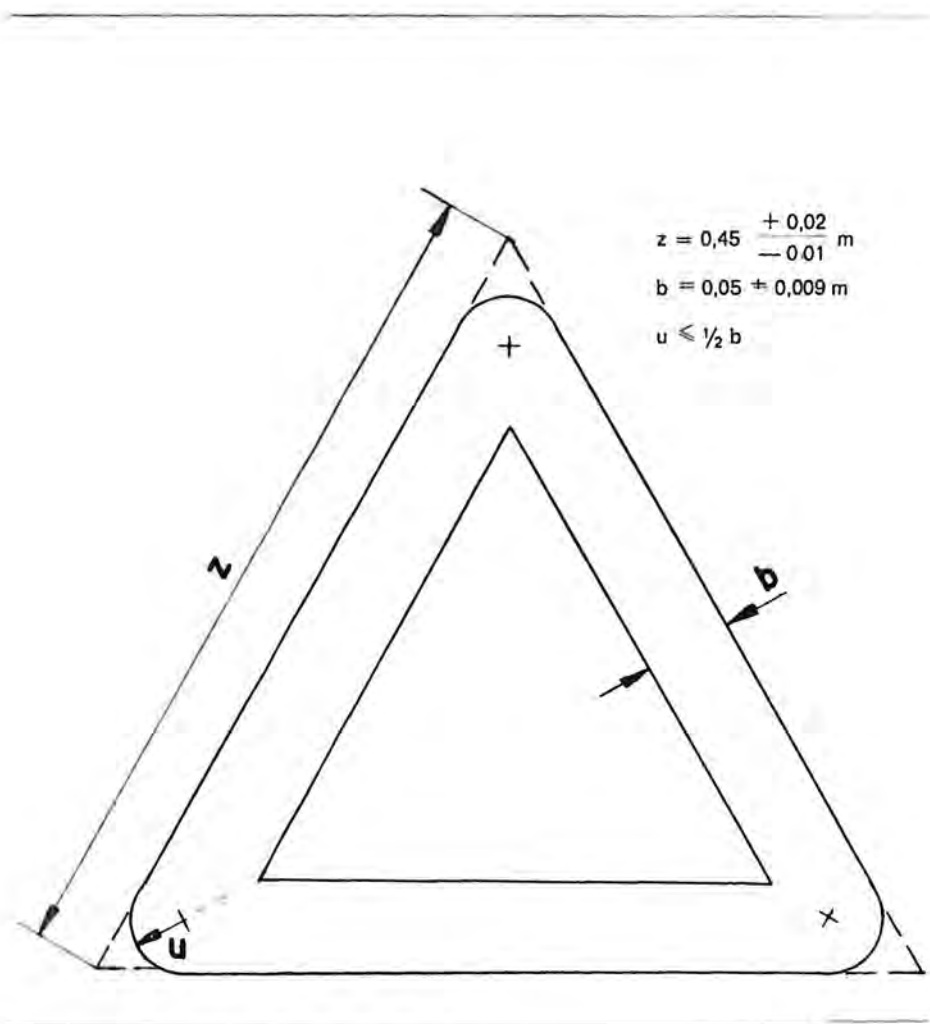
BIJLAGEN

BEHOREND BIJ HET SWOV-RAPPORT GEVARENDRIEHOEKEN

* Keuringseisen voor gevarendriehoeken

Toelichting op de stabiliteitskeuring

*
Opgesteld in samenwerking met het Instituut van Zintuigfysiologie RVO-TNO te Soesterberg, het RAI-TNO Instituut voor Wegtransportmiddelen te Delft, de N.V. tot keuring van Electrotechnische Materialen te Arnhem, de Nederlandse Stichting voor verlichtingskunde te Arnhem en het Verfinstituut TNO te Delft.



B1 Keuringseisen voor gevarendriehoeken

B1.1 Uitvoering

B1.1.1 Definitie gevarendriehoek

Een gelijkzijdige driehoek, die behoudens in het middengedeelte, is samengesteld uit rood retro reflecterend materiaal; en die aan de buitenzijde, naast dit materiaal al dan niet is voorzien van een rood fluorescerende omranding.

B1.1.2 Typen

Een gevarendriehoek kan zijn uitgevoerd als een:

a. open driehoek

Dit is een gevarendriehoek waarbij het oppervlak binnen de rood retro reflecterende randzone open is.

b. gesloten driehoek

Dit is een gevarendriehoek waarbij het oppervlak binnen de rood retro reflecterende randzone in een niet-retro reflecterende materiaal is uitgevoerd.

B1.2 Afmetingen

Het rood retro reflecterende gedeelte van een gevarendriehoek moet, voor wat de dimensionering betreft, voldoen aan de maten die in afbeelding B1 zijn aangegeven.

De maten z , b en u bepalen de contour, waarbinnen een bijdrage aan het retro reflecterend vermogen moet worden geleverd.

Ronde afsnijding bij de hoekpunten is toegestaan, mits het minimaal vereiste retro reflecterende oppervlak voorhanden blijft.

Niet-retro reflecterende rechtlijnige onderbrekingen tussen aan elkaar grenzende retro reflecterende delen zijn toelaatbaar, voorzover de breedte van een dergelijke onderbreking niet groter is dan 12 mm; het totale werkzame rood retro reflecterende oppervlak van de driehoek dient tenminste 400 cm² te bedragen.

B1.3 Lichttechnische eigenschappen

B1.3.1 Kleur

a) De kleuren van het rood retroflecterende materiaal en van het rode fluorescerende materiaal zijn vastgelegd aan de hand van het systeem voor kleurspecificatie, zoals dit werd aanvaard door de Commission Internationale de l'Eclairage (C.I.E., Cambridge 1931).

De grenzen voor de kleurcoördinaten van het licht, dat door het retroflecterende materiaal wordt teruggestraald, werden ontleend aan de 'Keuringseisen voor reflectoren voor motorvoertuigen en lengtedriehoeken voor aanhangwagens en opleggers', zoals gepubliceerd door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat in de Nederlandse Staatscourant van 18 mei 1967, nr. 94; de coördinaten moeten derhalve voldoen aan de volgende voorwaarden:

$$y < 0,335$$

$$z < 0,008$$

b) De kleur van het rood retroflecterende materiaal wordt beoordeeld door de driehoek te bestralen met een standaardlichtbron met een kleurtemperatuur van 2850° K en door de kleurcoördinaten te meten van het gereflecteerde rode licht bij toepassing van een waarnemingshoek die ten hoogste 2° bedraagt en van een oriëntatiehoek die niet groter is dan 5° in horizontale richting.

c) Ingeval het rood retroflecterende gedeelte van de gevarendriehoek aan de buitenzijde is aangevuld met rood fluorescerend materiaal moeten de kleurcoördinaten van dit materiaal voldoen aan de volgende voorwaarden, welke door de C.I.E. zijn opgesteld.

$$y < 0,290 + 0,080 x$$

$$y < 0,088 + 0,429 x$$

$$y > 0,313$$

$$y > 0,213 + 0,165 x$$

$$y > 0,830 - x$$

d) De kleurcoördinaten voor fluorescerend rood gelden voor het diffuus gereflecteerde licht en bij belichting van de meetplaats, c.q. het in beschouwing te nemen gedeelte van het materiaal met de standaarddaglichtbron C. De hoek tussen de gemiddelde lichtinvalsrichting en de normaal op de meetplaats dient daarbij 45° te worden aangehouden, de waarneming dient te geschieden in de richting van de normaal op de meetplaats.

e) De achterzijde van de driehoek moet in een niet-spiegelende tint zijn uitgevoerd.

f) Een bij de driehoek behorend onderstel dient een donkere kleur te bezitten.

g) De beoordeling van de kleur van niet-retroflecterende materialen en niet-fluorescerende materialen of van retroflecterende en fluorescerende materialen van andere kleuren dan rood vindt plaats door bezichtiging.

B1.3.2 Reflectie

a) De reflectiefactor van elk gedeelte van het rood retroflecterende materiaal moet, wanneer dit aangestraald wordt door een standaardlichtbron met een kleur-

Tabel B1.

Stand van de gevarendriehoek	Minimaal vereiste reflectiefactor (in cd/m^2 per lux) van het retroflecterende oppervlak en bij waarneming onder een hoek van 20° met de gemiddelde lichtinvalsrichting 1) 2) 3)
Verticaal en loodrecht op de gemiddelde lichtinvalsrichting (oriëntatiehoek = 0°)	125
Verticaal en bij toepassing van oriëntatiehoek van + en $- 20^\circ$ (in horizontale richting) tussen de normaal op de driehoek en de gemiddelde lichtinvalsrichting	50

1) Het bij de keuring te beschouwen retroflecterend oppervlak zal een grootte van 20 cm^2 nimmer onderschrijden, terwijl in dit oppervlak telkens de volle breedte van de werkzame randzone zal worden betrokken.

2) De reflectiefactor heeft betrekking op het gereflecteerde rood licht.

3) De meting van de reflectiefactor dient te worden uitgevoerd volgens de methode vermeld in de 'Keuringseen voor reflectoren voor motorvoertuigen en lengtedriehoeken voor aanhangwagens en opleggers', zoals gepubliceerd door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat in de Nederlandse Staatscourant van 18 mei 1967, nr. 94.

temperatuur van 2850°K , beantwoorden aan het gestelde in de hierboven afgebeelde tabel B1.

b) De waarde voor de diffuse reflectie van rood fluorescerend materiaal moet – overeenkomstig de aanbevelingen van de C.I.E. waaraan ook is gerefereerd in de norm voor Verkeerstekens (NEN 3381) – tenminste gelijk zijn aan het 3,5-voud van de (diffuse) reflectiefactor van een volkomen diffuus en totaal retroflecterend wit oppervlak; uitgedrukt in de eenheid welke in tabel B1 voor het reflecterend vermogen is gebezigd, dient de diffuse reflectie van fluorescerend materiaal ten minste $0,112 \text{ cd/m}^2$ per lux te bedragen.

De diffuse reflectie wordt beoordeeld onder dezelfde omstandigheden als onder B1.3.1.d. omschreven.

B1.4 Constructieve eigenschappen

B1.4.1 Algemene eisen

Een gevarendriehoek moet zodanig zijn samengesteld dat een doelmatig praktisch gebruik op een eenvoudige en voor de hand liggende wijze kan worden gerealiseerd.

seerd; de constructie of de uitvoering van de driehoek mag geen ernstige aanwijsbare gebreken vertonen.

Dit wordt beoordeeld tijdens de keuring alsook door het verrichten van een proefmontage.

B1.4.2 Stabiliteit

a) De gevarendriehoek mag niet verschuiven en/of kantelen ten gevolge van windstoten met een snelheid van 20 m/sec. Bij de keuring mogen luchtkrachten vervangen worden door een mechanisch uitgeoefende kracht, die aangrijpt op 5/12 van de hoogte van de driehoek en waarvan de grootte berekend wordt volgens de formule:

$$W = \frac{C_w \cdot F \cdot \rho \cdot V^2}{2}$$

Voor de luchtweerstandscoefficiënt C_w kunnen de waarden uit tabel B2 genomen worden.

Het frontaal oppervlak van de driehoek F dient per geval gemeten te worden. Voor de standaardatmosfeer is de luchtdichtheidsconstante $\rho = 0,125 \text{ kg/m}^3$. De grenswaarde voor de lichtsnelheid bedraagt $V = 20 \text{ m/sec}$.

De stabiliteitskeuring dient uitgevoerd te worden zowel voor aanblazing frontaal als onder een hoek van 45° ; bij niet-symmetrische constructies bovendien voor aanblazing van de voorzijde zowel als voor aanblazing van de achterzijde. De keuring moet plaatsvinden op wegdekken van asfalt, beton en klinkers.

B1.4.3 Druipwaterdichtheid

De achterzijde van het retroflecterend materiaal moet tegen de toetreding van druiwater zijn beschermd.

De beproeving vindt plaats door de gevarendriehoek in de normale stand gedurende 5 minuten bloot te stellen aan een kunstmatige verticale regenval van 3 mm per minuut. In aansluiting op deze beproeving mag het reflecterend (en fluorescerend) vermogen van de driehoek niet in belangrijke mate zijn afgenomen, hetgeen visueel, of in geval van twijfel door meting wordt beoordeeld, nadat de voorzijde van de driehoek met een doek zorgvuldig is afgedroogd.

C_w	aanblazing	
	frontaal	onder 45°
open driehoek	1,6	1,3
gesloten driehoek	1,06	1,00

Tabel B2.

B1.5 Materiaaleigenschappen

B1.5.1 Retroflecterend materiaal

Het retroflecterend (en fluorescerend) materiaal van de gevarendriehoek moet voldoende tegen benzine bestand zijn. De beoordeling vindt plaats door de voorzijde van het retroflecterend (en fluorescerend) materiaal van de gevarendriehoek te bevochtigen met een in benzine gedrenkte doek. Het reflecterend (en fluorescerend) vermogen mag hierna niet in belangrijke mate zijn afgenomen, hetgeen visueel of in geval van twijfel door meting wordt beoordeeld.

B1.5.2 De metalen delen

a) Bestendigheid tegen corrosie (uitsluitend bedoeld voor galvanisch nabewerkt staal).

De bestendigheid tegen corrosie wordt bepaald door de metalen delen, na ontvetting, gedurende 15 minuten in een 10% natrium-chloride-oplossing met een temperatuur van (100 ± 5) °C te plaatsen.

Onmiddellijk hierna worden deze delen gedurende 15 minuten in een zelfde oplossing doch met een temperatuur van (20 ± 5) °C geplaatst.

Daarna worden de delen afgespoeld en te drogen gelegd. Na de behandeling mogen de metalen delen niet zichtbaar zijn aangeast.

b) De gevarendriehoek mag ten gevolge van windstoten met een snelheid 20 m/sec niet zodanig vervormen, dat de top van de driehoek zich tijdens deze windbelasting meer dan 70 mm voorbij het verticale vlak door de basis van de driehoek bevindt.

Bij de keuring mogen de luchtkrachten vervangen worden door een mechanisch uitgeoefende kracht zoals aangegeven in paragraaf 5.2 van het rapport Gevarendriehoeken, met dien verstande dat uitsluitend het geval van frontale aanblazing van de voorzijde beschouwd en de keuring slechts vóór één standaard-wegdek uitgevoerd behoeft te worden.

c) Bestendigheid van de verflaag.

Indien de metalen delen zijn voorzien van een laklaag, worden aan de verf en aan de ondergrond de volgende eisen gesteld:

1. De ondergrond dient vrij te zijn van roest, walshuid en andere verontreiniging.
2. De verflaag dient tenminste een dikte van 25μ te bezitten.
3. De hechting van de verf mag ten hoogste de waarde Gt1 bedragen, volgens DIN-blad 53151.

B2 Toelichting op de stabiliteitskeuring

B2.1 Testmethoden

De stabiliteit van gevarendriehoeken kan op vier manieren getoetst worden.

B2.1.1 De praktijktest

De gevarendriehoek wordt op het wegdek geplaatst. Aan de stabiliteitseis is voldaan indien de gevarendriehoek niet verschuift of kantelt ten gevolge van zware windstoten of de zuiging van zware voertuigen die met hoge snelheid voorbij rijden. Men heeft echter de atmosferische toestand niet in de hand.

Dit bezwaar is gedeeltelijk te ondervangen, door de onderzoeken naar de stabiliteit ten aanzien van windstoten en ten aanzien van luchtwervelingen gescheiden uit te voeren.

a) Stabiliteit ten aanzien van windstoten

De gevarendriehoek wordt los neergezet op een grondvlak van wegdek materiaal, op een open terrein, waar andere dan weerinvoeden ontbreken en waar veelal hogere windsnelheden worden geregistreerd.

Keuringseis is dat de gevarendriehoek na registratie van de bovengrens van windkracht 11 op 6 m boven de grond niet verschoven of gekanteld is.

b) Stabiliteit ten aanzien van wervelingen achter zware voertuigen

De gevarendriehoek wordt, op ten hoogste 1,5 m van het gemiddelde rijspoor, los neergezet langs een weg waar zware voertuigen met hoge snelheden langs rijden.

De gevarendriehoek mag niet verschoven of gekanteld zijn, nadat een aantal (bijvoorbeeld 100) zware voertuigen, zoals vrachtwagens, zijn gepasseerd.

B2.1.2 De windtunneltest

Aan de stabiliteitseisen is voldaan als de driehoek in de windtunnel niet verschuift of kantelt wanneer de luchtsnelheid wordt opgevoerd tot 20 m/sec.

B2.1.3 De belastingtest

De gevarendriehoek wordt in het drukpunt belast met een kracht die ontleend wordt aan een unster of aan een gewicht dat met een koord via een katrol aan

de gevarendriehoek verbonden wordt. De belasting wordt berekend met behulp van vergelijking (5.1).

Aan de stabiliteitsvoorwaarden is voldaan als de driehoek bij de voorgeschreven belasting niet verschuift of kantelt.

Ten aanzien van de in paragraaf 5.4.1, 5.4.2 en 5.4.3 beschreven experimentele keuringseisen geldt dat ze voor alle veel voorkomende wegdeksoorten moeten worden herhaald.

B2.1.4 De rekentest

De mogelijke luchtlasten op de driehoek worden berekend met vergelijking (5.1).

Aan de stabiliteitseisen is voldaan als aan de ongelijkheden (5.2) en (5.3) voldaan is. Bij de rekentest kan geen rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat de stabiliteit tegen verschuiven anders dan door wrijving verkregen wordt.

B2.2 Vergelijking van de testmethoden

Bij de beoordeling van de diverse testmethoden zijn van belang de betrouwbaarheid, de eenvoud en de informatie die beschikbaar komt ter verbetering van de stabiliteit wanneer deze onvoldoende blijkt.

a) De betrouwbaarheid van een keuringsmethode wordt bepaald door de nauwkeurigheid van het onderzoek.

De onzekere factoren met betrekking tot de stabiliteit zijn de luchtsnelheid V ; de luchtweerstandscoefficiënt C_w en de wrijvingscoëfficiënt μ .

De voorgeschreven aanblaassnelheid $V = 20$ m/sec is niet meer dan een weloverwogen schatting met een redelijke kans dat V ligt in het interval 10 m/sec $< V < 30$ m/sec.

C_w vertoont niet zo'n grote spreiding voor vlakke platen met diverse contouren. Afhankelijk van de afwerking van de rand kunnen afwijkingen van $\pm 25\%$ toch wel voorkomen.

Op grond van ervaringen met allerlei materiaal-combinaties kan ten aanzien van μ slechts aangenomen worden dat de waarde zal liggen in het interval $0.3 < \mu < 1.2$.

De mogelijke invloed van deze onzekerheden op de nauwkeurigheid bij de diverse testmethoden is in tabel B3 uiteengezet.

b) De eenvoud van een keuringsmethode wordt bepaald door de plaats waar het onderzoek kan worden uitgevoerd en de benodigde meetapparatuur.

Voor de **praktijktest** is geen meetapparatuur nodig. De informatie die een waarnemingsstations van het KNMI verstrekt is voldoende.

Bij de **windtunneltest** moet gebruik gemaakt worden van één van de windtunnels van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR).

Tabel B3.

grootheid	μ	C_w	V^2	spreidingsfactor	
spreiding	0,3/1,2	75 %/125 %	100/900		
spreidingsfactor	4	1,67	9		
praktijktest	—	—	—	1	
windtunneltest	—	—	+	9	1/3-3
belastingtest	—	+	+	15	1/4-4
rekentest	+	+	+	60	1/8-8

Voor de **belastingtest** is een eenvoudige proefopstelling voldoende. Een katrol met gewichten is nauwkeuriger dan een unster.

Voor de **rekentest** zijn een meetlat en een weegschaal voldoende.

c) De informatie die door de test verkregen wordt, betreft de belasting waarbij de driehoek onstabiel wordt en of de driehoek gaat verschuiven dan wel kantelen. Bij de **praktijktest** wordt de windsterkte bepaald waarbij de driehoek onstabiel wordt.

Wanneer bij elke waarneming de maximale windsterkte die in de afgelopen periode is opgetreden wordt geregistreerd kan men na een serie waarnemingen vrij nauwkeurig bepalen tussen welke grenzen de kritieke windsterkte ligt.

Men vindt echter slechts verhoudingsgetallen, geen werkelijke grootte van de windsnelheid of van de luchtkrachten. Het is dus ook niet mogelijk de grootte van de wrijvingscoëfficiënt te bepalen.

Bij de **windtunneltest** is de aanblaassnelheid nauwkeurig bekend. Daar de mogelijke spreiding in de luchtweerstandscoefficiënt niet zo groot is kan de luchtkracht op de driehoek uitgeoefend redelijk nauwkeurig worden bepaald.

Daardoor kan de wrijvingscoëfficiënt vastgesteld worden met dezelfde nauwkeurigheid als C_w .

Bij de **belastingtest** kan de kracht die op de driehoek wordt uitgeoefend zeer nauwkeurig worden bepaald. De wrijvingscoëfficiënt is daardoor eveneens zeer nauwkeurig vast te stellen.

Bij de **rekentest** wordt de wrijvingscoëfficiënt bekend verondersteld en verkrijgt men dus ten aanzien van de wrijvingscoëfficiënt uit de test geen informatie. De diverse testmethoden kunnen kwalitatief gerangschikt worden volgens elk van de drie beschouwde criteria. De resultaten zijn samengevat in tabel B4.

Tabel B4.

	betrouwbaarheid	eenvoud	informatie
praktijktest	1	3	3
windtunneltest	2	4	2
belastingtest	3	2	1
rekentest	4	1	4

Conclusies:

1. De rekentest is ongeschikt, zolang niet door een voor te schrijven vormgeving een zekere waarde van de wrijvingscoëfficiënt gegarandeerd kan worden.
2. De nauwkeurigheid van de tests is met uitzondering van de praktijktest klein als gevolg van de onzekerheid ten aanzien van de voorkomende luchtsnelheden.
3. De windtunneltest is vrij omslachtig en kostbaar.
4. De belastingtest geeft op een betrekkelijk eenvoudige manier nauwkeurige informatie voor wat betreft wrijvingscoëfficiënt.
5. Door de praktijktest op enige representatieve gevarendriehoeken toe te passen, kan nagegaan worden of de geschatte waarde van de windsnelheid voldoende nauwkeurig is.