

FYSIOLOGISCHE VERBLINDING VEROORZAAKT DOOR SPORTVELDVERLICHTING

Artikel Polytechnisch tijdschrift (Elektrotechniek/elektronica)

34 (1979) 12: 734 t/m 737

R-79-32

Dr.ir. D.A. Schreuder

Voorburg, 1979

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

### SAMENVATTING

Als sportvelden dicht bij de openbare weg zijn gesitueerd, kan de verlichting veel hinder veroorzaken bij weggebruikers. Aangetoond wordt hoe de toelaatbare lichtsterkste van de verlichtingsarmaturen kan worden bepaald, als een zekere vermindering van de zichtbaarheid toelaatbaar is. De fysiologische verblinding veroorzaakt door sportstadions wordt berekend voor een aantal gevallen. De toelaatbare lichtniveau's kunnen over een groot gebied variëren; het blijkt dat in de meeste gevallen de lichtsterkste van verlichtingsarmaturen voor sportstadions beneden de 60 000 cd moet blijven.

### SUMMARY

If sports stadia are located close to public roads, their lighting may cause considerable glare for motorists. The article shows how the admissible luminous intensity of the lighting fitting can be approximated when a certain decrease of visibility is admitted. The disability glare caused by sports stadia is calculated for a number of different cases. The admissible light intensities can vary widely according to the values taken for the geometry; however, it seems that for most practical situations the light intensity of fittings for sports stadia should be under some 60 000 cd.

## Inleiding

Wanneer in het gezichtsveld van een waarnemer zeer heldere gedeelten voorkomen (aan te duiden als "verblindende lichtbronnen") kan het waarnemen nadelig worden beïnvloed. In extreme gevallen wordt de waarneming zelf geheel onmogelijk, vandaar de term "verblindings". Dit verschijnsel wordt, ook in de minder extreme gevallen, meestal aangeduid met fysiologische verblindings, omdat het hier gaat om verschijnselen die met de oogfysiologie te maken hebben. In het Engels wordt dit verschijnsel gewoonlijk aangeduid met "disability glare". Echter, ook in gevallen waarin de verblindende lichtbron niet zo sterk is dat er een duidelijke afname van de waarnemingsmogelijkheden zal worden geconstateerd, kan een zekere, en soms een zeer sterke, hinder optreden. Dit verschijnsel wordt meestal met psychologische verblindings omschreven; verblindings naar analogie van het bovenstaande, en psychologisch omdat dit verschijnsel meestal wordt onderzocht met psychologische bepalingsmethoden. De Engelse term is "discomfort glare".

In goede verlichtingsinstallaties dienen beide vormen van verblindings te worden vermeden of ten minste worden beperkt. In de aanbevelingen voor openbare verlichting - bijv. die van de NSvV [1] of die van de CIE [2] - wordt veel aandacht aan bepalingsmethoden en grenswaarden van verblindings besteed. Ook bij autoverlichting poogt men beide verblindingssoorten te vermijden - zij het tot nu toe met minder succes [3].

Een wat apart staand geval betreft de verlichting van sportvelden. Hierbij wordt meestal een verlichtingssysteem gebruikt met armaturen aan vrij hoge masten. Wanneer sportvelden of oefenvelden dicht bij verkeerswegen liggen, kunnen automobilisten aan een hinderlijke verblindings worden blootgesteld. Dit punt is in de reeds genoemde NSvV-aanbevelingen aangegeven; het onderhavige artikel geeft, samen met Folles [4] een nadere uitwerking; zie ook Folles [5].

Naast de hinder (en het daarmee verbonden mogelijke gevaar) dat het verkeer ondervindt van verblinding, kunnen ook anderen hinder ondervinden. Men kan denken aan voetgangers, en vooral ook thuiszitters die gestoord worden door het licht dat van buiten hun woning valt. Omdat het bij deze groepen meestal niet gaat om het storen van kritische visuele waarneming, zal hierover niet worden gesproken.

In het onderhavige artikel zal alleen de fysiologische verblinding aan de orde komen. Aspecten van de psychologische verblinding worden elders behandeld [4].

### Fysiologische verblinding

De fysiologische verblinding kan als volgt worden beschreven: het van de verblindende lichtbron afkomstige licht wordt in het oog verstrooid. Dit verstrooide licht kan worden vergeleken met een - zich buiten het oog bevindende - lichtsluier die zich over het gezichtsveld uitstrekt - ook over datgene wat moet worden waargenomen. De (equivalente) luminantie van deze sluier wordt weergegeven door:

$$L_{\text{seq}} = k \frac{E}{\theta^n}, \text{ waarin:}$$

E de verblindingssterkte op het oog,

$\theta$  de hoek tussen kijkrichting en verblindingslichtbron.

Uit experimenten blijkt dat wanneer E in lux,  $L_{\text{seq}}$  in  $\text{cd/m}^2$  en  $\theta$  in graden wordt uitgedrukt, de factor k ongeveer 10 bedraagt en de exponent n ongeveer 2, wanneer  $2^\circ < \theta < 60^\circ$ . Voor andere waarden van  $\theta$  worden andere waarden van k en n gevonden [3].

De schrijfwijze  $L_{\text{seq}}$  geeft aan dat het om een sluier gaat en om een equivalente luminantie.

Wanneer men de afstand tot het stadion d noemt, en q de verderop toegelichte dwarsafstand, dan blijkt dat

$$L_{\text{seq}} = 10 \frac{E}{\theta^2} = 10 \frac{I}{d^2} \frac{\pi^2}{180^2} \cdot \frac{d^2}{q^2} = \frac{I}{324 q^2}, \text{ voor } \theta < 15^\circ.$$

Dan geldt  $\text{tg}\theta \approx \theta$  (met  $\theta$  in radialen). Immers,  $E = I/d^2$  met  $I$  de lichtsterkte van de armaturen. Uiteraard wordt  $I$  in cd, en  $q$  en  $d$  in meters uitgedrukt.

Om aan te geven wat  $q$  in deze formule nu precies voorstelt, zij verwezen naar Figuur 1. Hierin is  $q$  de afstand tussen de armatuur en het snijpunt van de "kijklijn" met een vlak door dat armatuur loodrecht op die kijklijn. Daarbij geldt  $\theta \approx \text{tg } \theta = q/d$  (uiteraard alleen voor kleine waarden van  $\theta$ );  $q$  is dus meestal aanzienlijk groter dan de "ophanghoogte"  $h$  van de armaturen, doordat een weg slechts zelden recht op een sportveld af loopt.

Voor ieder lichtpunt wordt een andere waarde van  $q$  gevonden. Wanneer met meer dan één lichtpunt rekening wordt gehouden, moeten de afzonderlijke bijdragen tot de sluiertiluminantie worden gesommeerd. Dus

$$L_{\text{seq, tot}} = \sum_i L_{\text{seq, i}} = \frac{1}{324} \sum_i \frac{I_i}{q_i^2}$$

Omdat  $q$  kwadratisch in de noemer voorkomt, is vooral de kleinste  $q$ -waarde van belang voor het eindresultaat.

Om nu tot een schatting te komen welke waarde van  $I$  als eerste benadering nog acceptabel is, zullen we een aantal veronderstelde gevallen nader uitwerken. In het eerste geval zullen we er van uitgaan dat de verblinding door één tegemoetkomende auto die dimlicht gebruikt, op een normale weg nog acceptabel is. Een auto met dimlicht (twee lampen) heeft in de richting van de ogen van de tegenligger een lichtsterkte van ongeveer 500 cd. Stel de dwarsafstand (hier dus  $q$ !) tussen de auto's is ruim 3 meter, dan volgt voor de auto

$$L_{\text{seq}(1)} = \frac{500}{324 \cdot 10}$$

Uiteraard is dit een vrij grove benadering. De lichtsterkte hangt sterk af van de richting, dus van  $q$ . De veronderstelling van  $I = 500$  cd en  $q = 3$  m zijn dus benaderingen.

Voor het sportveld (voor de "ongunstigste" mast) geldt:

$$L_{\text{seq}(2)} = \frac{I}{324q^2} \quad (1)$$

Doordat  $I = 324 \cdot q^2 \cdot L_{\text{seq}}$  mag dus  $I = 50 \cdot q^2$  zijn, indien door de sportveldlichten geen hogere sluiierluminantie dan door de gebruikelijke koplantaarns van een tegenligger wordt teweeggebracht.

Nu is  $q$  in het ongunstigste geval (recht op het sportveld toe rijden) gelijk aan  $h$ , dus bij oefenvelden circa 15 m (boven ooghoogte), maar meestal is  $q$  aanzienlijk meer. Dit hangt af van de situatie van sportveld en weg (zie Figuur 1). We zullen als voorbeeld nemen  $q = 30$  m. Hieruit volgt  $I_1 = 45\ 000$  cd voor één armatuur.

De hierboven gegeven schatting is, zoals gezegd, een eerste benadering. Hierbij is niet beschouwd hoe groot de vermindering van zichtbaarheid in feite is; er is alleen aangegeven dat de invloed niet groter is dan die welke door één tegenligger in de ongunstigste situatie wordt teweeggebracht. Voor een wat nauwkeuriger schatting kan men als volgt te werk gaan.

Hierboven is de equivalente sluiierluminantie voor één speciaal geval bepaald. Wanneer de adaptatieluminantie, die bij benadering gelijk gesteld wordt aan de wegdekluminantie, bekend is, kan worden bepaald hoe groot de teruggang in zichtbaarheid is. Daartoe wordt gebruik gemaakt van de in de CIE-publikatie Nr. 19 [6] gegeven relatie tussen de luminantie enerzijds en de drempelwaarde van het contrast (C) anderzijds. De in Cie Nr. 19 gegeven "standaardrelatie" is weergegeven in Figuur 2. Voor het gedeelte dat voor het wegverkeer bij duisternis van belang is, blijkt dat bij benadering de relatie geldt:

$$C = \frac{\Delta L}{L} = a \cdot L^{-0,5} \quad (2)$$

met  $a = 0,5$ . Voor andere uitgangspunten is op basis van gegevens van Berek en Adrian door de SWOV [7] gesteld:  $a = 0,1$ . Zoals echter zal blijken is de waarde van  $a$  niet belangrijk.

We merken nog op dat de relatie (2) geldt voor drempelwaarden. Het is niet in detail bekend hoe de relatie is tussen de luminantie enerzijds en het contrast dat met een bepaalde graad van "bovendrempelig" waarnemen correspondeert. Vaak wordt aangenomen dat met bovendrempelig waarnemen rekening kan worden gehouden door een parallelle verschuiving van de kromme van Figuur 2 - een andere waarde van  $a$  dus! Omdat hierover geen zekerheid bestaat moet worden aangenomen dat de hier gegeven beschouwingen allereerst voor drempelwaarden gelden.

### De relatie contrast/verlichting

We kunnen nu de vraag iets anders stellen: hoe groot mag  $L_{seq}$  zijn zo dat het zichtbare contrast niet meer dan een bepaalde mate afneemt? Stel het contrast met verblinding is  $C'$ , zonder verblinding  $C$ . De relatieve afname van het contrast ten gevolge van de verblinding is dan  $\frac{C-C'}{C}$ . Dit wordt met  $p$  aangegeven. De voorwaarde wordt dan  $\frac{C-C'}{C} = p < p_0$  waarin  $p_0$  de toelaatbaar geachte afname is.

Hieruit volgt dat  $\frac{C'}{C} = 1 - p$  of  $C' = C(1-p)$

Met  $C = a L^{-0,5}$  en  $C' = a (L + L_{seq})^{-0,5}$  volgt:

$$a (L + L_{seq})^{-0,5} = a L^{-0,5} (1-p)$$

Nu blijkt dat de getalwaarde van  $a$  van geen belang is.

Voorts is:

$$L = (L + L_{seq})(1-p)^2 \quad \text{of}$$

$$L_{seq} = L \frac{1-(1-p)^2}{(1-p)^2} = L \frac{2p-p^2}{1-2p+p^2} \approx L \frac{2p}{1-2p} \quad (\text{wanneer } p \ll 1)$$

$$\text{Nu was eerder gevonden dat: } L_{seq} = \frac{1}{324q^2} \quad (1)$$

We vinden dus ten slotte

$$I = 324 \cdot L \cdot q^2 \cdot \frac{2p}{1-2p} \quad (3)$$

Deze relatie - die uiteraard voor slechts één lichtpunt geldt - geeft algemeen het verband aan tussen de toelaatbare (totale) lichtsterkte van de armaturen, de adaptatieluminantie (bij benadering gelijk gesteld aan de wegdekluminantie), de "dwarsafstand" en de toelaatbare verhoging van de drempelwaarde van de contrastgevoeligheid.

Als voorbeeld nemen we:  $L = 0,15$  (onverlichte weg met dimlicht),  $q = 30$  en  $p = 0,25$  (een aanzienlijke verslechtering van de situatie, zoals die bij openbare verlichting in de regel niet wordt getoleerd, zie hiervoor de CIE-aanbevelingen [2]). Ingevuld geeft dat:

$$L_2 \approx 45\,000 \text{ cd.}$$

Stelt men andere eisen, dan kunnen uiteraard de toelaatbare waarden van  $I$  ook anders worden.

Bij goede openbare verlichting en strenge eisen aan de verblinding ( $L = 2$ ;  $p = 0,05$ ) wordt de uitkomst:

$$L_3 \approx 65\,000 \text{ cd.}$$

Nog een andere benadering van het probleem is mogelijk. Men kan ook eisen, zonder aan de zichtbaarheid van gewone objecten te denken, dat de zichtbaarheid van retroreflectoren niet te veel wordt beïnvloed. Men kan daarbij eisen dat de afstand  $d_1$  waarop een reflector zonder verblinding zichtbaar is, niet meer dan tot  $d_2$  wordt gereduceerd door de verblinding ten gevolge van de sportveldverlichting. Wanneer de reflector met een lichtsterktecoëfficiënt  $R$  wordt verlicht door een autolamp met een lichtsterkte  $I_a$ , dan wordt de lichtsterkte van de reflector

$$I_r = \frac{R \cdot I_a}{d^2},$$



en de verlichtingssterkte op het vlak van het oog van de waarnemer

$$E_o = \frac{R \cdot I_a}{d^4}$$

(hierbij zijn enige verwaarlozingen toegelaten die niet worden besproken).

De drempelwaarde voor zichtbaarheid van een (puntvormig gedachte) lichtbron, uitgedrukt in de minimale waarde van  $E_o$ , hangt af van de omgevingsluminantie. Stel dit kan worden uitgedrukt (voor kleine variaties in L) door  $E_o = b \cdot L^{2/3}$  (zie Figuur 3).

Zonder verblinding geldt dan dat

$$E_o = b \cdot L^{2/3} = \frac{R \cdot I_a}{d_1^4}$$

Met verblinding is  $E_o$  anders (stel  $E'_o$ ) en  $d_1$  wordt  $d_2$ .

Dan geldt:

$$E'_o = b (L + L_{seq})^{2/3} = \frac{R \cdot I_a}{d_2^4} \text{ dus } \left( \frac{L}{L + L_{seq}} \right)^{2/3} = \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^4 \text{ dus } L_{seq} = L \left[ \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^6 - 1 \right]$$

Met  $L_{seq} = \frac{I}{324q^2}$ , waarbij I de lichtsterkte van de lichtbron van het speelveld is, en q de reeds genoemde "dwarsafstand" (zie Figuur 1) volgt:

$$I = 324 \cdot L \cdot q^2 \left[ \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^6 - 1 \right]. \quad (4)$$

Wanneer een reflector op 180 m zichtbaar is in plaats van op 200 m (dus  $d_1/d_2 = 200/180 = 1,11$ ) en, als voorbeeld, voor  $L = 0,15$  en  $q = 30$ , dan is, weer voor één lichtpunt

$$I_4 = 38\ 000 \text{ cd.}$$

Maar wanneer we aannemen dat de reflector op 150 m in plaats van op 200 m zichtbaar is, dan volgt hieruit bij  $L = 0,15$  en  $q = 30$ : een lichtsterkte van ca. 200 000 cd. Een dergelijk grote achteruitgang van de zichtbaarheid lijkt echter niet acceptabel te zijn.

Volgens de in het voorgaande gebruikte veronderstellingen zou de lichtsterkte van de autoverlichting ( $I_a$ ), de relatie tussen de luminantie en de verlichtingssterkte op het oog ( $b$ ) en de lichtsterktecoëfficiënt ( $R$ ) van de reflector geen invloed hebben op het resultaat. Dit is juist wanneer men alleen bepaalde teruggang in de zichtbaarheidsafstand in de beschouwing betreft, en wanneer het eenvoudige verband  $E_o = bL^{2/3}$  met  $b$  is constant, kan worden gebruikt. Het betekent echter niet, dat de zichtbaarheid niet van deze grootheden zou afhangen. Om aan te geven hoe deze afhankelijkheid eruit kan zien, is in Figuur 4 de relatie gegeven tussen de zichtbaarheidsafstand en de lichtsterktecoëfficiënt  $R$ . Daarbij is weer uitgegaan van de reeds afgeleide formule:

$$E_o = \frac{R \cdot I_a}{d^4}$$

Omgewerkt geeft dat  $d = \left( \frac{R \cdot I_a}{E_o} \right)^{0,25}$

Ofschoon de drempelwaarde van  $E_o$  vaak ongeveer 0,0001 lux bedraagt, wordt voor vele nachtelijke omstandigheden een grenswaarde voorgesteld van 0,001 lux. Voor verschillende waarden van  $R$  (corresponderende met een goede, een uitstekende en een in de toekomst wellicht te verwezenlijken reflector; ofwel  $R = 1; 3; 10$  cd/per lux) en van  $I_a$  (variërend tussen "verbeterd" stadslicht, en hoofdlicht; dus  $I_a$  tussen 100 cd en 100 000 cd) blijkt de zichtbaarheid tussen 20 en 200 m te liggen.

### Conclusie

Uit het voorgaande blijkt dat het niet eenvoudig is één enkele waarde te geven voor de maximaal toelaatbare lichtsterkte afkomstig van de verlichting van sportvelden. Uit de hier gegeven voorbeelden volgen voor de omstandigheden van het wegverkeer maximaal toelaatbare waarden van de lichtsterkte, steeds voor één lichtpunt, in de buurt van 40 000 à 60 000 cd. Ofschoon met een andere keuze van de parameters vaak geheel andere waarden volgen, lijkt een waarde van

60 000 cd een redelijke eerste benadering te zijn. Voor een kwik-halogenidelamp met 180 000 lumen (een vrij gangbaar type) betekent dit dat een kleine 400 cd per 1000 lumen. Om dit te bereiken zullen vaak afschermingen ("louvres") moeten worden aangebracht. Wanneer meer dan één lichtmast tegelijk zichtbaar is (wat vaak het geval is) moet een lagere waarde voor het maximum worden aangehouden. Wil men een nauwkeuriger opgave van de toelaatbare lichtsterkte maken, dan zijn nadere gegevens over de positie van het veld, het aantal masten, het armatuurtype, de plaatselijke omstandigheden en vooral ook weer de gewenste verblindingsbegrenzing vereist.

LITERATUUR

1. Richtlijnen en Aanbevelingen voor openbare verlichting. Electro-techniek 52 (1974) no. 15; 53 (1975) no. 2, no. 5.
2. Recommendations for the lighting of roads for motorized traffic. Publication No. 12/2. Paris (1977) CIE.
3. Schreuder, D.A. Autoverlichting binnen de bebouwde kom. Verkeerstechniek 22 (1971) 583-591.
4. Folles, E. De verblinding door sportveldverlichting en haar invloed op het wegverkeer en de omwonenden. Polytechnisch tijdschrift (Elektrotechniek/elektronica) 34 (1979) 12: 726-733.
5. Folles, E. Sportveldverlichting en de hinder voor het verkeer. Polytechnisch tijdschrift BW 30 (1975) 16: 511-514.
6. A unified framework of methods for evaluating visual performance aspects of lighting. Publication No. 19. Paris (1972) CIE.
7. SWOV. Stads- en dimlichten binnen de bebouwde kom. Rapport 1969-6. Voorburg (1969) Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.
8. Douglas, C. Visual Range. Monograph 159. Washington, D.C. (1977) Nat. Bur. Standards.

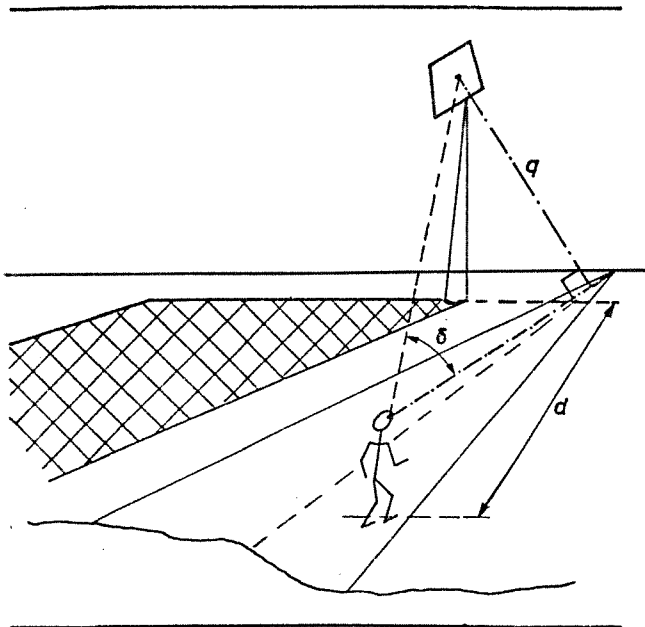
FIGUREN 1 T/M 4

Figuur 1. De notatie die is gebruikt.

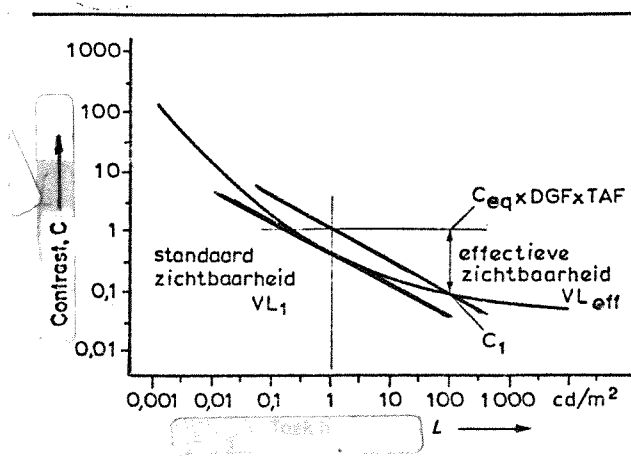
Figuur 2. De relatie tussen de luminantie van de taak  $L$  en het luminantiecontrast van die taak  $C$  (naar [6]).

Figuur 3. De relatie tussen de verlichtingssterkte op het oog  $E_o$  en de achtergrondluminantie  $L$  voor de waarneming (98% van de gevallen) van een ongekleurde lichtbron (naar [8]).

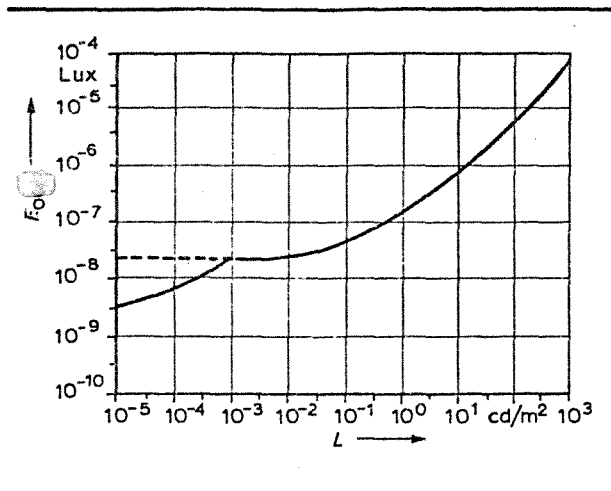
Figuur 4. De zichtbaarheidsafstand van retroreflectoren in afhankelijkheid van de lichtsterkte  $I_a$  en het reflecterend vermogen  $R$ .



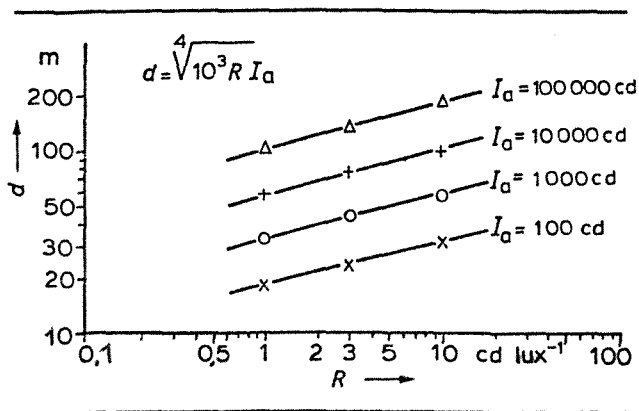
Figuur 1. De notatie die is gebruikt.



Figuur 2. De relatie tussen de luminantie van de taak L en het luminantiecontrast van die taak C (naar [6]).



Figuur 3. De relatie tussen de verlichtingssterkte op het oog  $E_0$  en de achtergrondluminantie  $L$  voor de waarneming (98% van de gevallen) van een ongekleurde lichtbron (naar [8]).



Figuur 4. De zichtbaarheidsafstand van retroreflectoren in afhankelijkheid van de lichtsterkte  $I_a$  en het reflecterend vermogen  $R$ .