HOGESCHOOL UTRECHT

AFSTUDEEROPDRACHT

SCHRIJVER	:	P.J. VAN DEN BERG
STUDIERICHTING	:	ELEKTROTECHNIEK
OPDRACHTNUMMER	:	E919205
STUDIEJAAR	:	1991-1992

S C R I P T I E

MEETSYSTEEM TEN BEHOEVE VAN HET BEPALEN :

- VAN HET LICHTSTERKTEDIAGRAM

- het berekenen van de lichtstroom bij downlighters

door:

P.J. van den Berg

cursusjaar:

1991-1992

begeleiders school:

dr. L.J. Ancher
ir. G. Segeren

externe deskundige:

ir. A.Th. Vermeulen

begeleider bedrijf:

M. Fischer

bedrijf:
*Li*crea
Produktieweg 2a
3401 MG IJsselstein

Voorwoord

SAMENVATTING

Na een bespreking van de lichttechnische eenheden en een stukje verlichtingskunde wordt besproken op welke wijze de lichtsterktediagram bepaald kan worden. De praktische uitvoering van een meetsysteem alsmede het ontworpen softwareprogramma voor de lichtstroomberekening aan de hand van de lichtsterktemetingen wordt toegelicht.

CONCLUSIE

SYMBOLENLIJST

...°	graad
lim	limiet
ω	ruimtehoek
Φ	lichtstroom
γ	hoek tussen "arm" en "rotatie-as armatuur" resp. de hoek tussen I en I_0
φ	hoekverdraaiing bij rotatie van het aramtuur om zijn rotatie-as
cd	candela
def	definitie
E	verlichtingssterkte
FL	fluorescentie lamp (TL-lamp; PL-lamp, SL-lamp etc.)
I	lichtsterkte (ook: stroomsterkte)
I_0	lichtsterkte in de richting van de rotatie-as van het armatuur
K_U	konstante van Ulbricht
lm	lumen
R	weerstand
PL	U-vormige FL-buis
U	spanning
V	volt

INLEIDING

Om de lichtstroom van een lichtbron te bepalen gebruikt men de bol van Ulbricht. Men zou de lichtstroom ook kunnen berekenen via $\int I d\omega$; in dat geval moet men van de lichtbron de lichtsterktediagram kennen. Daarnaast willen ook vele klanten deze kromme van een armatuur kennen teneinde zelf de verlichtingssterkte *ergens* te kunnen berekenen.

Voor een leverancier van verlichtingsarmaturen is het dan ook bijna een 'must' om een installatie te hebben waarmee de lichtsterktediagram van een lichtbron gemeten kan worden.

Gevraagd was dan ook om zo'n installatie te ontwerpen en uit te voeren. Tevens zou dan een stuk software gemaakt kunnen worden om, uitgaande van de lichtsterktediagram, de totale lichtstroom van die bron te kunnen berekenen.

Voor het ontwerp van de meetinstallatie gingen de gedachten uit naar een systeem waarbij het armatuur geplaatst wordt in dezelfde positie als waarin het t.z.t. zal worden gemonteerd. De lichtmetingen zullen daarbij geschieden middels een meetarm die in een vertikaal vlak rondom het armatuur kan draaien, terwijl het armatuur zelf nog stapsgewijs geroteerd moet kunnen worden. Hierdoor kan dus in elk punt rondom een bron gemeten worden. Het voordeel van deze methode i.p.v. de gebruikelijke waarbij de meetcel 'vast' staat en de lichtbron wordt gedraaid en gekanteld- is, dat in ons systeem o.a.:

- de gloeidraad in de normale positie staat, hetgeen de nauwkeurigheid van de meting bevordert;
- het gas in b.v. een PL-lamp steeds in rust is; dit in tegenstelling tot een *gebruikelijke* meetopstelling waar na elke positiewijziging van zo'n lamp enkele minuten moeten worden gewacht tot het gas weer in rust is.
- in het ondehavige geval ook nog ruimtewinst oplevert (=overheadkostenbesparend).

INHOUDSOPGAVE

Deel 2 MECHANICA

Deel 1 THEORIE

1.1 THEORIE VERLICHTINGSKUNDE voor puntvormige lichtbronnen

Als grootheden, symbolen en eenheden worden hier gedefinieerd:

LICHTSTROOM symbool: Φ
eenheid : lumen [lm]

= totale hoeveelheid energie, die een lichtbron per seconde uitstraalt.

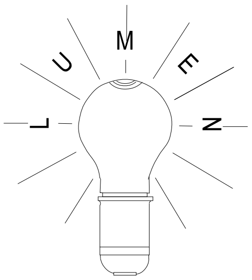

fig. 1

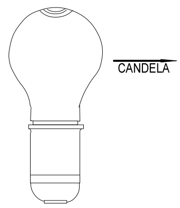

fig. 2

LICHTSTERKTE symbool: I
eenheid : candela [cd]

= de lichtstroom per eenheid van ruimtehoek in een bepaalde richting uitgestraald

$$I \stackrel{def}{=} \frac{d\Phi}{d\omega} \qquad \textbf{(1)}$$

De grootheid 'lichtsterkte' is binnen het S.I. als basisgrootheid geaccepteerd. De eenheid ervan is dan ook binnen het S.I. als volgt vastgesteld:
De candela is de lichtsterkte, in een gegeven richting, van een bron die een monochromatisc he straling met een frequentie van 540 THz (555 nm, geel-groene kleur) uitzendt en waarvan de stralingssterkte in die richting 1/683 W/sr is.
Een oude (veel genoemde) definitie was dat een warmte(thermische)straler van 1 cm² bij circa 2046 K (temperatuur van smeltend platina) een lichtsterkte heeft van 60 candela.

Als afgeleide van het bovenstaande zou men kunnen zeggen dat een lamp, die het genoemde monochromati-sc he licht uitzendt, een (max.) lichtopbrengst heeft van 683 lm/W. Hieraan zou een 'rendement' van lampen te relateren zijn. Een gloeilamp met b.v. een specifieke lichtstroom van zo'n 13 lm/W heeft dus een rendement van 2% !! Maar... onze *sublieme* gasontladingslampen met zo'n 80 à 90 lm/W hebben dan een rendement van ca 12%. Men zou zich ook kunnen afvragen: "Wanneer wordt er een 'groene' lamp gemaakt (terreinverlichti ng ?) met een 'echt hoge' specifieke lichtstroom ?

VERLICHTINGSSTERKTE symbool: E
eenheid : lux [lx]

= de opvallende lichtstroom per eenheid van oppervlak.

$$E \overset{def}{=} \frac{d\Phi}{dA} = \frac{d\Phi}{dA'}.\cos(\alpha) \qquad (2)$$

Hierin staat dA’ ⊥ op de lichtbundel dΦ;
α is de hoek tussen beide vlakjes

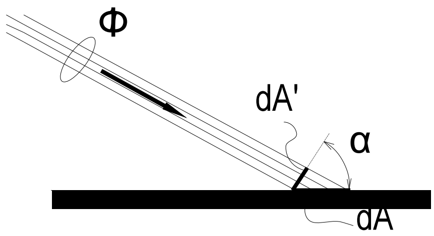

fig. 3

RUIMTEHOEK symbool ω
eenheid : steradiaal [sr]

= de ruimtehoek (binnen een kegel) die, wanneer zijn top samenvalt met het middelpunt van een bol met straal R, op die bol een (bolle) oppervlak uitsnijdt ter grootte van $R^2 * \omega$. dus...(zie ook fig. 4)

$$\omega \overset{def}{=} \frac{A_{bol}}{R^2} \qquad (3)$$

ofwel...

$$d\omega = \frac{dA_{bol}}{R^2} \qquad resp. \qquad dA_{bol} = R^2.d\omega \qquad (4)$$

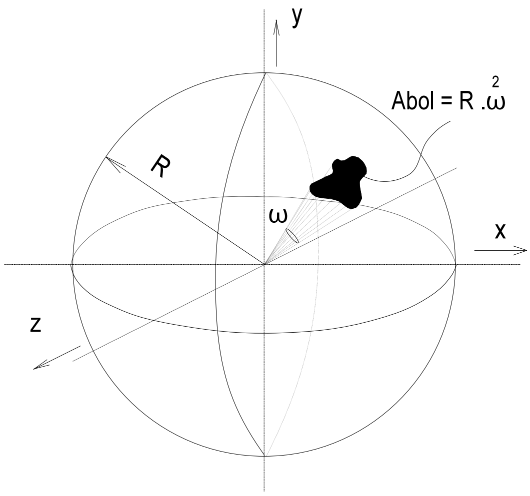

fig. 4. Grafische voorstelling van een ruimtehoek.

Opm. Vergelijk dit ook met een hoek α (in het platte vlak; gemeten in radialen). De grootte van die hoek is de 'ruimte' tussen twee stralen van een cirkel, met straal R, die op de omtrek van die cirkel een booglengte afsnijden van $R*\alpha$.

Een afgeleide formulering voor de verlichtingssterkte kan als volgt verkregen worden.

Algemeen geldt voor een punt P (met oppervlakje dA) op een vlak (zie ook fig. 4):

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \qquad met\ (hier) \quad dA_{bol}\ (=x^2 d\omega) = dA.\cos(\alpha) \tag{5}$$

Hierbij is α de hoek tussen de vlakjes dA en dA_{bol} (resp. tussen de normalen n en n', c.q. .....de ínkomende lichtstraal en n).

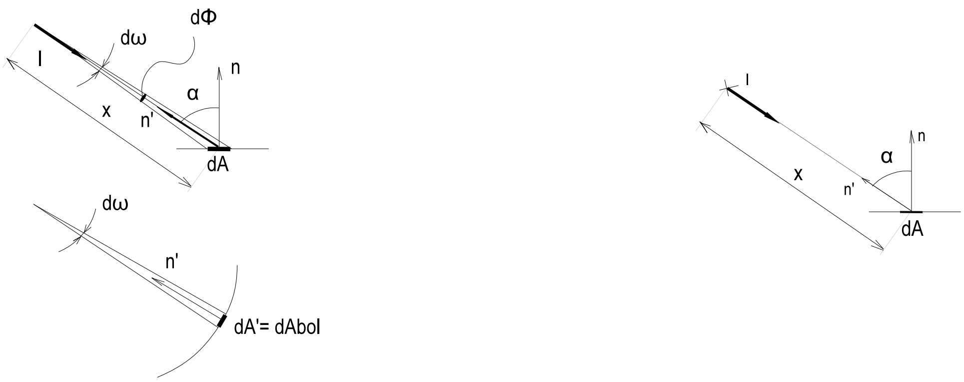

fig. 5 Verlichtingssterkte op een vlak(je).

Uit het bovenstaande en uit (1) volgt dus

$$E = \frac{d\Phi}{dA} = \frac{d\Phi}{dA_{bol}} * \cos(\alpha) = \frac{Id\omega}{x^2 d\omega} * \cos(\alpha) \tag{6}$$

ofwel...

$$E = \frac{I(\gamma,\varphi)\ .\ \cos(\alpha)}{x^2} \tag{7}$$

Omdat bij puntvormige bronnen de I(γ,φ) meestal bekend is, is (6) een veel gebruikte formule.

Voor enkele toepassingen van (6) om E in een punt te berekenen (e.e.a. afhankelijk van meerdere bronnen) wordt verwezen naar de bijlagen.

1.2 LICHTSTROOMMETING

Om de totale lichtstroom van een verlichtingstoestel te meten gebruikt men normaliter de Bol van Ulbricht; soms ook wel integrator genoemd.

Men zou ook op andere wijze de lichtstroom kunnen *meten*, n.l. door de lichtsterkte in elke richting te meten en via $\Phi=\int\int Id\omega$ berekenen.

Voor die lampen waarbij de lichtsterktediagram een rotatiesymmetrie vertoont is het mogelijk om $\Phi = k\int Id\gamma$ te berekenen; hiervoor wordt dan het Rousseaudiagram gebruikt.

Dat e.e.a. zich tegenwoordig gemakkelijk via een computer (al dan niet *on-line*) laat berekenen is bijna vanzelfsprekend. In de komende delen zal dit worden toegelicht.

Opm. De lichtstroom van de lichtbron is afhankelijk van de hoogte van de aangelegde spanning. Deze spanning dient daarom konstant te worden gehouden. Dit geschiedt bij alle metingen middels een spanningsstabilisator.

1.2.1 ALGEMENE NUMERIEKE MEET- c.q. BEREKENMETHODE

Algemeen geldt volgens (1) :

$$\Phi = \int_{\omega_2 = 0}^{\omega_2 = 4\pi} \int I(\gamma,\varphi) \, * \, d\omega_2 \tag{8}$$

Willen we van een (willekeurige) lichtbron de lichtstroom Φ bepalen dan meten we I(γ,φ) en bepalen we steeds de bijbehorende dω = f(γ,φ,dγ,dφ) als volgt:

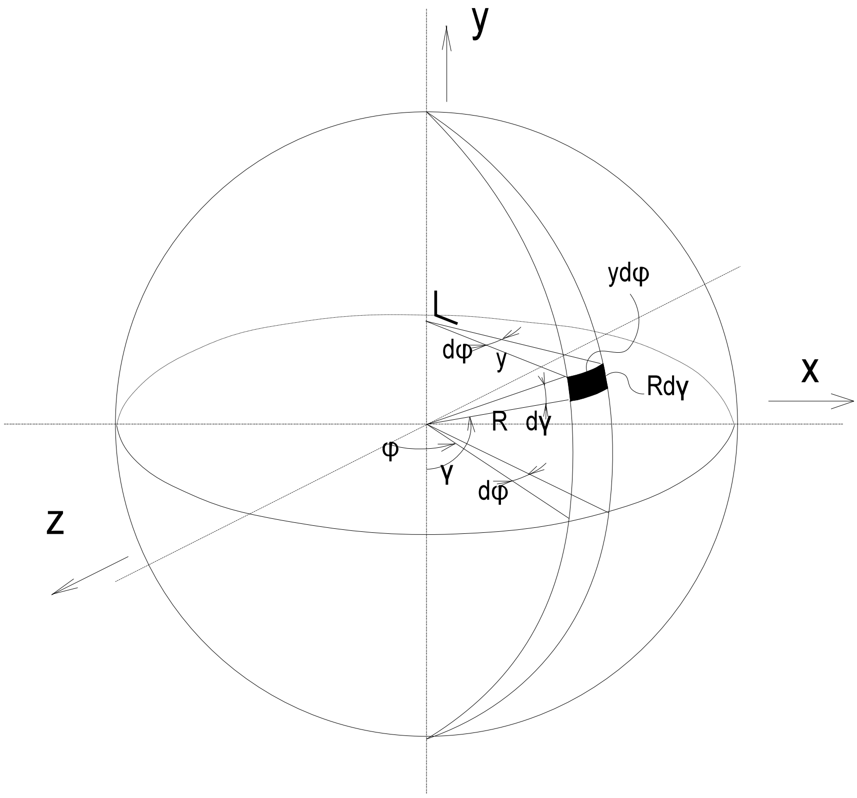

fig. 6 Schets voor het vaststellen van dA_{bol}

Bepaling van $d\omega = f(\gamma,\varphi,d\gamma,d\varphi)$ (Zie ook fig. 5)

$$d\omega_2 = \frac{dA}{R^2} = \frac{(y.d\varphi)(R.d\gamma)}{R^2} \qquad met \quad y = R.\sin(\gamma) \tag{9}$$

ofwel...

$$d\omega_2 = \sin(\gamma) d\gamma d\varphi \tag{10}$$

met $0 < \gamma < \pi$ en $0 < \varphi < 2\pi$.

Merk op dat de sub (8) en (9) genoemde $d\omega$ *klein van tweede orde* is (vandaar ook de $d\omega_2$); er zal dus *dubbel geïntegreerd* dienen te worden.

Om "praktisch" te kunnen meten zullen we i.p.v. **$\int\int$ via $d\omega_2$** moeten **$\Sigma\,\Sigma$ via $\Delta\omega_2$**. Delen we daartoe de ruimte op in '...tig' schijven $S(\varphi)$ met "breedte" $\Delta\varphi$ en meten we de daarbij behorende $I(\gamma)$, dan schrijven we voor Φ:

$$\Phi = \Sigma\,\Sigma\, I(\gamma,\varphi)\ .\ \Delta\omega_2 \qquad met \qquad \Delta\omega_2 = \sin(\gamma)\ \Delta\gamma\ \Delta\varphi \tag{11}$$

Voorbeeld: (zie ook fig. 5)

We nemen steeds aan dat het meetpunt (γ,φ) MIDDEN IN EEN VLAKJE ΔA_{bol} ligt.
Nemen we voor de schijven een $\Delta\varphi = 5*\pi/180$ rad, dan kiezen we voor φ achtereenvolgens φ = [2,5; 7,5; 12,5.....352,5 en 357,5]*π/180 rad waarmee we alle schijven gehad hebben; in totaal zijn dat dus $2\pi/\Delta\varphi$ = (hier) = 360°/5° = 72 schijven.
Voor $\Delta\gamma$ nemen we b.v. $2*\pi/180$ rad. Nu kiezen we voor γ = [2; 4; 6;... ...176 en 178]*π/180 rad. We hebben dan 180/2 - 1 = 89 meetpunten per schijf. Hiermee 'missen' we (aan boloppervlak) dus nog twee (kleine) cirkeltjes n.l. een bij: γ=0...1° en een bij γ=179...180°. De grootte van zo'n cirkeltje (boloppervlakje) is dus $dA = \pi.y^2$ met $y = R.\sin(\Delta\gamma/2)$ [= R.sin(1°)]= $R.(\Delta\gamma/2)$; immers, $\Delta\gamma$ is erg klein, en dan is sin(x) = x}
De $\Delta\omega$ die daarbij behoort is dus $\Delta\omega = \pi.\sin^2(\Delta\gamma/2) = \pi.(\Delta\gamma/2)^2$ sr.

In totaal krijgen we dus $2\pi/\Delta\varphi * (\pi/\Delta\gamma - 1)$ = (hier) = 72*89 = 6408 *klassieke* meetpunten die elk met $\Delta\omega_2$ moeten worden vermenigvuldigd + nog 2 meetpunten (voor γ=0 en $\gamma=\pi$) die met $\pi.(\Delta\gamma/2)^2$ vermenigvuldigd moeten worden.

Opm.1) In praktische gevallen zal E worden gemeten, niet I. We zullen dus niet met $\Delta\omega$ maar met $\Delta A = R^2.\Delta\omega$ moeten vermenigvuldigen.

Opm.2) Voor de liefhebber is het wellicht aardig om te controleren of onze berekeningen van $\Delta\omega_2$ etc. correct zijn.

Zij/hij kan dan het volgende uitrekenen...:

$$\omega = \sum_{n=1}^{89} \sin(n*\Delta\gamma).\Delta\gamma * 2\pi + 2.\frac{cirkeltje}{R^2}, \qquad met \quad \Delta\gamma = 2*\frac{\pi}{180} \tag{12}$$

Het antwoord zal dan (natuurlijk) 4π (= 12,56637) moeten zijn.
(Uitgerekend op een PC kwam er uit: ω= 12,56605; slechts 0,025 ‰ mis!!)

1.2.2 ROUSSEAU DIAGRAM voor rotatiesymmetrische bronnen

Het Rousseau diagram is een diagram waaruit de lichtstroom van een rotatiesymmetrische lichtbron eenvoudig is af te leiden c.q. is op te meten.

Voor die gevallen immers waarin de lamp een rotatiesymmetrische licht-sterkteverdeling heeft, (I is dan onafhankelijk van φ) kan dφ apart geïntegreerd worden via

$$\int_{\varphi=0}^{2\pi} d\varphi = 2\pi \qquad \textbf{(13)}$$

Hierdoor ontstaat een *andere* $d\omega_1$ die slechts *klein van eerste orde* is en dan ook slechts eenmaal geïntegreerd behoeft te worden.
De $d\omega_2$ uit (9) wordt nu dus een $d\omega_1$ en wel:

$$d\omega_1 = 2\pi.\sin(\gamma)d\gamma \qquad \textbf{(14)}$$

Zie hierbij ook fig.7 waarin een lichtbron met een rotatiesymmetrische lichtsterktediagram is gegeven en waarin onze $d\omega_1$ dus de hele kleine ruimtehoek $d\omega_1$ is die aldaar *zichtbaar* is (zie dγ) als ruimtehoek tussen de beide kegels, met halve tophoeken van γ en γ+dγ, in. Binnen die $d\omega_1$ is dan ook onze I(γ) een constanante.
De $d\omega_1$ uit (13) is uit fig.7 ook direct af te lezen als bedacht wordt dat

$$dA_{bol} = 2\pi.y.Rd\gamma = 2\pi.R^2\sin(\gamma)d(\gamma) \qquad \textbf{(15)}$$

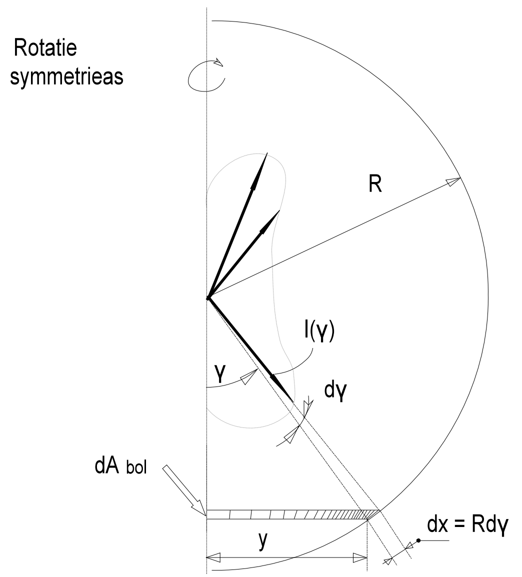

fig. 7 Schets voor de berekening van de lichtstroom, Φ, bij een rotatiesymmetrische licht sterktediagram. De gestippelde lijn is hierin de I(γ).

Schrijven we nu i.p.v. de algemene formulering uit (8)

$$\Phi = \int \int_{\omega_2=0}^{\omega_2=4\pi} I(\gamma,\varphi)\; d\omega_2 \qquad \textbf{(16)}$$

via de eigenschappen voor rotatiesymmetrie, voor Φ:

$$\Phi = \int_{\omega_1=0}^{\omega_1=4\pi} I(\gamma)\; d\omega_1 = 2\pi \int_{\gamma=0}^{\gamma=\pi} I(\gamma)\; \sin(\gamma)\; d\gamma \qquad \textbf{(17)}$$

ofwel

$$\Phi = 2\pi \int_{\gamma=0}^{\gamma=\pi} I(\gamma)\; d\; (-\cos(\gamma)) = 2\pi \int_{\cos(\gamma)=-1}^{\cos(\gamma)=+1} I(\gamma)\; d\; \cos(\gamma) \quad , \qquad \textbf{(18)}$$

dan zien we dat als we I uitzetten als functie van cos(γ), dat dan de oppervlakte van die figuur (mits vermenigvuldigd met 2π) een maat is voor Φ. Dit is zichtbaargemaakt in onderstaand Rousseau-diagram, het rechterdeel.
In het linkerdeel staat I(γ) en tevens de *vertaling* van γ naar cos(γ).

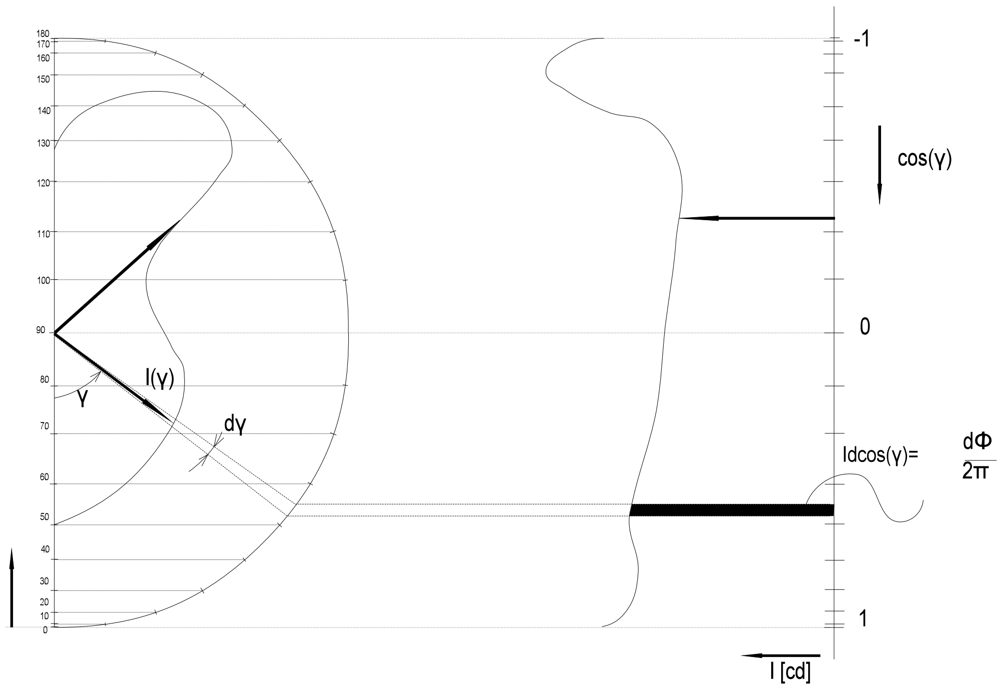

fig. 8 Rousseau-diagram voor het bepalen van de lichtstroom uit de lichtsterkteverdeelkromme bij rotatiesymmetrische bronnen.

1.3 POLAIR LICHTSTERKTEDIAGRAM, I = f(α)

Het polaire lichtsterktediagram laat zien hoe de lichtsterkte van een lichtbron (gloeilamp, FL-buis e.d.) in de verschillende richtingen verdeeld is. Zo'n diagram geldt maar voor één vlak. Is de lichtbron rotatiesymmetrisch, dan is dit voldoende. In het andere geval geeft de fabrikant meestal de lichtsterktediagrammen van twee loodrecht op elkaar staande vlakken, verwerkt in één grafiek (zie fig. 12).
De lichtsterkteverdeling van een lamp kan in hoge mate worden beïnvloed door de constructie te wijzigen (bijvoorbeeld inwendige reflectoren) en/of de lamp in een speciaal armatuur te plaatsen. Er worden daarom vele lichtsterktediagrammen voor verschillende combinaties lampen en armaturen opgegeven. Meestal wordt in deze diagrammen de lichtsterkte per 1000 lm opgegeven. Dat wil zeggen dat de werkelijke waarde van lichtsterkte, I, zoveel maal groter is, als de totale lichtstroom, Φ, van de lamp groter is dan 1000 lm. Bevinden zich in een bepaald armatuur twee lampen met elk een Φ van 2500 lm, dan is de totale Φ, 5000 lm en dient de waarde van I in het bijbehorende diagram met 5 vermenigvuldigd te worden.

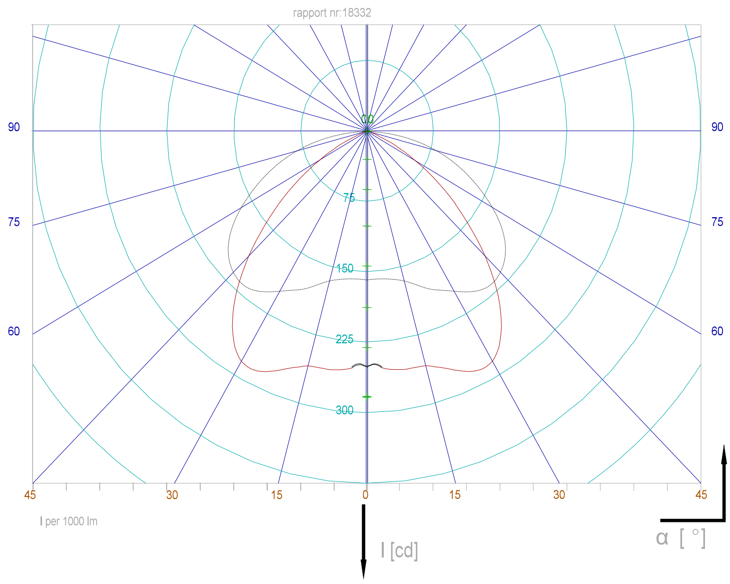

fig. 12 Lichtsterktediagram.

In de literatuur wordt het lichtsterktediagram ook wel genoemd: lichtsterkteverdeelkromme, lichtsterkteverdelingskromme, lichtdiagram.