

PROF. DR. C. ZWIKKER * FLUORESCENTIEVERLICHTING

FLUORESCENTIE-
VERLICHTING

FLUORESCENTIEVERLICHTING

PHILIPS' TECHNISCHE BIBLIOTHEEK

UITGAVE: MEULENHOFF & Co. — AMSTERDAM

FLUORESCENTIEVERLICHTING

EEN OVERZICHT VAN DE WETENSCHAPPELIJK-
TECHNISCHE GRONDSLAGEN EN TOEPASSINGEN
VAN DE FLUORESCENTIELAMPEN
EN HUN ACCESSOIRES

771.44

DOOR

DR. W. ELENBAAS DR. A. A. KRUIHOF
DRS. J. FUNKE DR. J. L. OUWELTJES
TH. HEHENKAMP IR. L. M. C. TOUW
IR. L. C. KALFF DR. D. VERMEULEN
DR. R. VAN DER VEEN

ONDER REDACTIE VAN

PROF. DR. C. ZWIKKER

DIRECTEUR ONTWIKKELING LICHTGROEP
N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

262 BLADZIJDEN MET 173 ILLUSTRATIES,
14 BUITEN TEKST FOTOGRAFISCHE AFBEELDINGEN
EN ALS BIJLAGE EEN AFBEELDING VAN DE KLEURENDRIEHOEK

1950

PUBLICATIE VAN
N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN - EINDHOVEN
AFDELING TECHNISCHE EN WETENSCHAPPELIJKE LITTERATUUR

COPYRIGHT N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN TE EINDHOVEN (NEDERLAND)
NADruk, OOK GEDEELTELIJK, VERBODEN
GEDRUKT IN NEDERLAND

ALLE IN DIT BOEK OPGENOMEN GEGEVENS WERDEN MEDEGEDEELD ZONDER
OCTROOIGARANTIE DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN TE EINDHOVEN

INHOUDSOPGAVE

Blz.

Prof. Dr. C. Zwikker:

Inleiding 1

Dr. J. L. Ouweltjes:

Hoofdstuk I: Luminescentie, fluorescentie en fosforescentie

- § 1. Zichtbaar licht als onderdeel van het spectrum 5
- § 2. Hoe ontstaat licht 6
- § 3. Temperatuurstraling en luminescentie 7
- § 4. Luminescentie van gassen 8
- § 5. Wet van Stokes. Aanslag en emissiespectrum 11
- § 6. Luminescentie van vaste stoffen 12
- § 7. Theorie van de fluorescentie en fosforescentie bij vaste stoffen 13

Hoofdstuk II: Luminescerende stoffen

- § 1. Samenstelling van luminescerende stoffen 19
- § 2. Eisen voor het practisch gebruik van fluorescerende stoffen 20
- § 3. Bereiding en eigenschappen van de practisch gebruikte fluorescerende stoffen 22
- § 4. Korrelgrootte van fluorescerende stoffen 25
- § 5. Aanbrengen van de fluorescerende laag in de lamp 26
- § 6. De fluorescerende laag in de lamp 27

Dr. A. A. Kruithof:

Hoofdstuk III: Kleur van het licht van buisvormige fluorescentielampen; kleurweergave

- § 1. Het mengen van fluorescerende stoffen 30
- § 2. Het zien van kleuren 32
- § 3. Het opbouwen van de kleurendriehoek 33
- § 4. Het berekenen van kleurpunten 35
- § 5. Toepassing van de kleurenleer op buisvormige fluorescentielampen 38

05

§ 6. Kleur van het licht van buisvormige fluorescentielampen voor algemene verlichting	40
§ 7. Kleurtolerantie	44
§ 8. Kleurweergave van daglichtlampen	46
§ 9. Kleurweergave van „warmer” getinte lichtbronnen	50

Dr. W. Elenbaas:

Hoofdstuk IV: Gasontladingen

§ 1. Electronenemissie	57
§ 2. Elastische en onelastische botsingen	59
§ 3. Het potentiaalverloop in de buis	61
§ 4. De bouw van het atoom en de wijze van emitteren bij gasontladingen	62
§ 5. De karakteristiek	66
§ 6. Stabilisatie	68
§ 7. De stroom- en spanningsvorm; de arbeidsfactor van de lamp	70
§ 8. De ontsteking	71

Hoofdstuk V: Lamconstructie

§ 1. Waarom lage-druk kwiklampen?	75
§ 2. Waarom lange en wijde buizen?	76
§ 3. Electrodenconstructie	77
§ 4. Het bedekken van de spiralen	78
§ 5. De vervaardiging van de lamp	80

Hoofdstuk VI: Rendementsbeschouwingen

§ 1. Hoeveel licht kunnen we van een TL-lamp verwachten?	81
§ 2. De energiebalans van de TL-lamp	82
§ 3. Het rendement als functie van een aantal parameters	84

Drs. J. Funke:

Hoofdstuk VII: Lamptypen

§ 1. Laagspannings-fluorescentielampen	91
§ 2. Lampen voor hoge spanningen	93
§ 3. Eigenschappen van TL-lampen	95
§ 4. Starterloze lampen voor lage spanning (TL-S)	96

Hoofdstuk VIII: Starters

§ 1. Inleiding	99
----------------------	----

§ 2. Beschrijving van de verschillende typen	100
§ 3. Schildwachtstarters	102

Hoofdstuk IX: Schakelingen

§ 1. Inleiding	105
§ 2. Wisselstroomvoeding	105
§ 3. Schakelingen voor 110-125 V netten	107
§ 4. Duoschakeling	107
§ 5. Schakelingen voor drie lampen	108
§ 6. Serieschakeling	109
§ 7. Schakelingen voor onmiddellijk ontsteken	109
§ 8. Voeding met hogere frequenties	111
§ 9. Gelijkstroomvoeding	112
§ 10. Radio-ontstoring	114
§ 11. Dimmen	114
§ 12. Lampkarakteristieken	115

Th. Hehenkamp:

Hoofdstuk X: Voorschakelapparaten

§ 1. Inleiding	118
§ 2. Gelijkstroomvoeding	120
§ 3. Wisselstroomvoeding	123
§ 4. IJzerkernen	126
§ 5. De afmetingen van het voorschakelapparaat in verband met verliezen en levensduur	127
§ 6. Langgerekte vorm van het voorschakelapparaat	131
§ 7. Verschillende kernconstructies	133
§ 8. Afmetingen en kwaliteit van condensatoren	134
§ 9. Toleranties	136
§ 10. Brommen van voorschakelapparaten	137

Ir. L. M. C. Touw:

Hoofdstuk XI: Armaturen voor fluorescentielampen

§ 1. Inleiding	143
§ 2. De lichttechnische eisen	143
§ 3. Het onderbrengen van de elektrische accessoires	154
§ 4. De vorm van het armatuur in verband met het gebruik	161
§ 5. Maatregelen ter voorkoming van brommen	162
§ 6. De montage	163
§ 7. Het onderhoud	167

Dr. D. Vermeulen:

**Hoofdstuk XII: Over de beginselen van de verlichtings-
techniek**

§ 1. Inleiding	170
§ 2. Verlichtingsnormen	174
§ 3. Gewenste helderheidsverhoudingen in het gezichtsveld als men naar de taak kijkt	183
§ 4. Over de helderheidsverdeling in het gezichtsveld als men opkijkt van het werk	188

Ir. L. C. Kalff:

Hoofdstuk XIII: Toepassing van TL-lampen

§ 1. Inleiding	195
§ 2. Verlichting in de industrie	203
§ 3. Kantoor en schoolverlichting	212
§ 4. Tekenzalen	222
§ 5. Winkels en grote magazijnen	224
§ 6. Etalageverlichting	229
§ 7. Sportverlichting	233
§ 8. Café's en restaurants	234
§ 9. Bioscopen en theaters	235
§ 10. Museumverlichting	236
§ 11. Woonhuizen	238
§ 12. Verkeersverlichting	243
§ 13. Straatverlichting	245

Dr. R. van der Veen:

§ 14. Gebruik van TL-verlichting in land- en tuinbouw	246
---	-----

Register	250
----------------	-----

INLEIDING

De snelle ontwikkeling en de ruime verbreiding van fluorescentieverlichting hadden plaats in de laatste tien jaren. Ofschoon de eerste pogingen om fluorescentielampen te vervaardigen reeds vrij oud zijn, is de introductie van deze lampen op enigszins grotere schaal te stellen op 1939, toen de tentoonstelling „The World of Tomorrow”, gehouden in New York, grotendeels met fluorescentielampen werd verlicht.

Tot die tijd was de gloeilamp de veruit meest gebruikte lichtbron. Het nuttig effect van gloeilampen, dit is de hoeveelheid licht, gemeten in lumens, betrokken op het toegevoerde electrisch vermogen in watts, ligt rondom 15 lumen per watt. De gloeidraad van de gloeilamp zendt echter het grootste gedeelte van haar stralen uit in het infrarode gedeelte van het spectrum. Deze straling is niet zichtbaar, maar alleen waarneembaar door haar warmte-ontwikkeling. Wat van de gloeidraadstraling in het zichtbare gebied valt is slechts een klein gedeelte, en men was er zich reeds vroeg van bewust, dat er andere lichtbronnen moesten zijn, waarbij de verhouding tussen het gedeelte van de straling dat in het zichtbare spectrum, en het gedeelte dat daarbuiten valt, gunstiger is.

Het was duidelijk, dat zulke lichtbronnen met veel beter nuttig effect geen gloeidraad zouden hebben, want alle gloeiende vaste stoffen hebben de eigenschap dat zij te veel van hun straling buiten het zichtbare spectrum werpen. De lichtbron waar men naar zocht, werd dan ook reeds vroeger aangeduid als de „koude lamp”.

Wel waren naast de lichtstraling van gloeiende lichamen bekend de lichtverschijnselen die optreden als een electrische stroom door een al of niet verdund gas wordt gezonden. De laboratoria van de lampenfabrieken nu hebben zich beijverd, dit koude licht te gaan toepassen, om aldus tot efficiënte lichtbronnen te geraken, waarin van dit verschijnsel gebruik wordt gemaakt.

Dit is gelukt, en in de eerste drie decennia van deze eeuw, maar vooral in de dertiger jaren, kwamen verscheiden typen gasontladingslampen op de markt, waarvan de neonlamp (rood licht), de natriumlamp (oranje-

geel licht) en de kwiklamp (blauw wit licht) de meest bekende representanten zijn. De laatste twee hebben inderdaad op de gloeilamp voor, dat zij een heel wat hoger rendement bezitten, nl. 3 à 5 keer zo hoog. Mede dank zij deze eigenschap, hebben deze lampen een ruime verbreiding gevonden: de natriumlamp wordt veelvuldig gebruikt voor verlichting van verkeerswegen; de kwiklamp — dikwijls, ter verbetering van de lichtkleur, gecombineerd met gloeilampen — voor stads- en fabrieksverlichting.

Ook de fluorescentielamp is een gasontladingslamp: kwik van lage druk fungeert als lichtend gas. De straling ligt echter grotendeels in het ultraviolette deel van het spectrum en is alleen al om deze reden onzichtbaar. Er komt nog bij, dat glas de hoofdmasse van deze straling niet doorlaat, zodat er maar heel weinig van naar buiten komt.

Om nu tot een efficiënte en economische lichtbron te komen, heeft men gebruik gemaakt van het principe der fluorescentie, waaronder wij verstaan het verschijnsel, dat bepaalde stoffen lichtstraling van korte golflengte opnemen en heruitstralen als lichtstraling van langere golflengte. Als wij gemakshalve de aan het rode en het violette uiteinde van het spectrum aansluitende gebieden aanduiden met de weliswaar contradictoire uitdrukking „onzichtbaar licht”, dan kan de ons interesserende fluorescentie worden genoemd de transformatie van ultraviolet, onzichtbaar, kortgolvig licht in zichtbaar licht van langere golflengte. Deze transformatie wordt tot stand gebracht door een laagje van een, onder normale omstandigheden gezien, witte poederachtige stof, die aan de binnenkant van het glas wordt aangebracht en dus ten volle wordt bestraald door het ultraviolette licht, dat in het gas wordt opgewekt door de elektrische stroom.

Hiermee is zeer in het kort het principe van de fluorescentielamp uiteengezet. Het nuttig effect is 50 à 70 lumen per watt, dus drie tot vier keer dat van gloeilampen, en is van de orde van grootte van het nuttig effect van de bovengenoemde natrium- en kwiklampen. Het is niet de bedoeling hier uitvoerig de relatieve voor- en nadelen van de fluorescentielamp enerzijds, van de natrium- en de kwiklampen anderzijds tegenover elkaar te stellen. Voor beide categoriën bestaan specifieke toepassingsgebieden, en het is te verwachten dat zij naast elkaar blijven bestaan. Trouwens, ook de gloeilamp dreigt, ondanks haar lager rendement, geenszins te worden verdrongen door de gasontladingslampen of zelfs de fluorescentielampen.

Een karakteristiek kenmerk van de fluorescentielamp mogen wij echter niet voorbijgaan, en wel de mogelijkheid die zij biedt om door de geschikte keuze van het fluorescerende poeder, de kleur van het uitge-

straalde licht aan te passen aan onze wensen; dit is met de oudere gasontladingslampen niet mogelijk. Dank zij die aanpassing nu, zijn de gebruiksmogelijkheden van de fluorescentielamp ongemeen veelvuldig, en juist in deze omstandigheid moeten wij de voornaamste oorzaak zien van de enorme groei der fluorescentieverlichting.

In dit boek zal de lezer allereerst worden ingelicht over problemen die samenhangen met het ontwerpen van de fluorescentielampen. Hierbij zal blijken, dat er redenen zijn waarom deze lampen noodzakelijk een aanzienlijke lengte moeten hebben. Deze zal op het eerste gezicht een bezwaar lijken, de practijk echter heeft anders geleerd. De langgestrekte buisvorm bleek grote artistieke mogelijkheden te bieden. Daarenboven kon, dank zij deze vorm, enerzijds de helderheid van de lamp zo laag worden gehouden, dat het direct kijken in de lamp niet hinderlijk is; anderzijds vertonen de schaduwen niet de scherpe contrasten die aan het gebruik van meer puntvormige lichtbronnen, zoals gloeilampen, zijn verbonden. Men vat de laatste twee kenmerken van fluorescentielicht samen in de term „zacht licht”.

Ook is de levensduur van fluorescentielampen aanzienlijk langer dan die van gloeilampen, zodat, dank zij deze factor en het groter nuttig effect, een fluorescentielamp gedurende haar leven zeker vijftien maal zoveel licht uitstraalt als een gloeilamp van hetzelfde wattage.

Samenvattend mogen wij constateren, dat de fluorescentielampen onze aandacht ten zeerste verdienen uit hoofde van de volgende kenmerken:

- hoog lichtrendement,
- lange levensduur,
- vrij te kiezen kleur,
- artistieke effecten,
- zacht licht.

Tegenover deze gunstige eigenschappen staat het enige nadeel — en de fluorescentielamp deelt dit met alle andere gasontladingslampen — dat zij op het elektrisch net moet worden aangesloten onder tussenschakeling van een stroombegrenzend voorschakelapparaat, op straffe van onmiddellijke breuk. Verder is er in de regel een bijzondere inrichting nodig om de lamp te ontsteken, welke inrichting eventueel in het voorschakelapparaat kan worden opgenomen. Wegens de gecompliceerde installatie vormen deze accessoires een bezwaar; echter heeft dit niet de grote populariteit van de fluorescentielampen kunnen verhinderen.

Enige hoofdstukken van dit boek zijn aan de constructie van deze accessoires gewijd. Ook zal er aanleiding zijn op diverse schakelingen en hun elektrische eigenschappen in te gaan. Interessant is het de ontwikkeling te volgen van losse onderdelen naar complete apparaten, waarin alle

accessoires zijn ondergebracht, zodat de verlichtingsinstallatie aan de verbruikers geen zorgen meer geeft. Naast deze elektrische accessoires zijn intussen vele soorten armaturen ontwikkeld, waarbij wegens het volkomen nieuwe karakter van de lampen geheel andere principes naar voren kwamen dan die welke aan de constructie van de armaturen voor gloeilampen leiding hadden gegeven. De ontwikkeling van armaturen voor fluorescentielampen kan men zich niet denken los van de wensen die ontstaan uit de praktische toepassingen; en deze wensen kwamen voort zowel uit overwegingen van aethetica als uit die van verlichtingstechniek en installatiemogelijkheden. Men is, vooral in Amerika, zover gegaan, de begrenzingen van het vertrek als armatuur in te richten, en is daarbij o.a. gekomen tot plafonds die in hoofdzaak een functioneel karakter hebben ten behoeve van licht, geluid en luchtverversing. In de meeste gevallen evenwel zullen de fluorescentielampen worden geborgen in armaturen die een harmonische combinatie zijn van lamp, elektrische accessoires, montage-elementen en lichttechnische voorzieningen.

Deze synthese zal in de slothoofdstukken van dit boek worden beschreven.

De schrijvers van de diverse hoofdstukken hebben grote moeilijkheden ondervonden bij het vaststellen van de grenzen van hun onderwerp, zulks vooral wegens de snelle vooruitgang van de techniek. Daarom moet hier met nadruk worden vermeld, dat in dit boek alleen is beschreven de kern van de fluorescentieverlichting, die een zekere stabiliteit heeft verkregen en voor vele lichtgebruikers van belang is. Op zichzelf interessante toepassingen van bijzondere aard, en de nieuwste, nog nauwelijks bezonken ontwikkelingen die hun permanentie nog moeten bewijzen, zijn om redenen van ruimtebeperking weggelaten. De eenheid van de stof zal door deze beperking ook zeker gunstig zijn beïnvloed.

C. ZWIKKER.

LUMINESCENTIE, FLUORESCENTIE EN FOSFORESCENTIE

§ 1. ZICHTBAAR LICHT ALS ONDERDEEL VAN HET SPECTRUM

Het is onze landgenoot Christiaan Huygens geweest, die in 1678 voor het eerst heeft uitgesproken, dat licht een golfverschijnsel is. Het duurde lang voor men deze opvatting aanvaardde. Tegenover de golftheorie van het licht stond de hypothese van Newton, dat het licht zou bestaan uit materiële kogeltjes, die door de lichtbron werden uitgezonden, en de grote autoriteit van Newton maakte dat men pas in de negentiende eeuw, nadat men inderdaad de golflengte had gemeten, de grote voordelen van de golftheorie begon in te zien. Zoals elk golfverschijnsel, is ook licht gekenmerkt door de snelheid waarmee de golven zich voortplanten, alsmede door zijn golflengte en zijn frequentie. Tussen deze grootheden bestaat de betrekking:

$$c \text{ (voortplantingssnelheid)} = \nu \text{ (frequentie)} \times \lambda \text{ (golflengte)}.$$

De voortplantingssnelheid van licht in vacuum (en praktisch ook in lucht) is 300 000 km per sec. De golflengte is verschillend voor de verschillende kleuren licht; zij is het langst voor rood licht (7×10^{-5} cm), het kortst voor violet licht (4×10^{-5} cm). Meestal drukken we de golflengte uit in ångströmeenheden; een ångströmeenheden komt overeen met 10^{-8} cm. Het zichtbare gebied loopt dus van 4000 Å (violet) tot 7000 Å (rood).

We weten nu, dat het zichtbare licht slechts een klein deel vormt van een veel wijder stralingsspectrum. Aan het violette deel van het zichtbare spectrum sluit aan de ultraviolette straling, aan het rode deel de infrarode straling. Ultraviolette straling heeft dus een golflengte, kleiner dan 4000 Å; de golflengte van infrarode straling is langer dan 7000 Å. Van het ultraviolet naar steeds kortere golflengten gaande, komen we in het gebied van de röntgenstralen, daarna in de γ -stralen van radio-actieve stoffen en ten slotte in de cosmische stralen. Van het rood gaande naar het gebied van langere golflengten, krijgen we eerst de infrarode of warmtestralen, dan de hertzse stralen en de radiostraling. Een overzicht van het gehele spectrum geeft fig. 1.

Een paar belangrijke golflengten voor de gasontladingslampen zijn

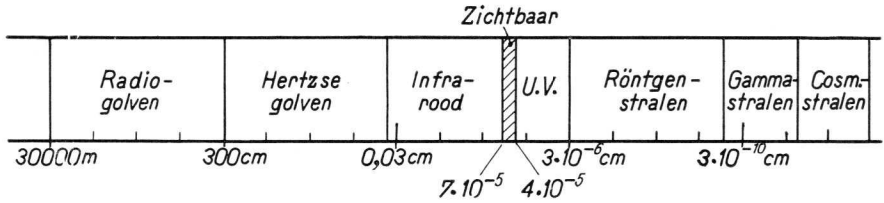


Fig. 1

Het electromagnetisch stralingspectrum.

2537 Å, de belangrijkste golflengte in het ultraviolette spectrum van de kwikontlading, en de twee golflengten 5790 en 5796 Å, die karakteristiek zijn voor het licht van de natriumlamp.

§ 2. HOE ONTSTAAT LICHT?

Volgens het atoommodel van Rutherford-Bohr moeten we ons voorstellen, dat een atoom bestaat uit een positief geladen kern, die zich bevindt in een wolk van electronen. Deze vertegenwoordigen een totale negatieve lading, die gelijk is aan de positieve lading van de kern. Het geheel is dus analoog aan een zonnestelsel: de kern fungeert als zon, de electronen bewegen zich zoals de planeten, elk in hun baan. Het aantal electronen, en daarmee ook de lading van de kern, is karakteristiek voor elk chemisch element. Het eenvoudigste systeem hebben we bij waterstof: een kern, waaromheen één electron. Het volgende element is helium, met twee electronen; daarop volgt lithium met drie electronen, enz.

De banen waarop de electronen kunnen lopen zijn niet willekeurig. Om bij het eenvoudigste geval te blijven: het electron in het waterstofatoom kan op verschillende banen lopen, en het aantal mogelijke banen is zeer groot. Dit betekent echter niet dat elke baan beschreven kan worden; er zijn slechts banen mogelijk waarvan de afmetingen aan zeer bepaalde voorwaarden voldoen.

In elke baan heeft het electron een andere energie, en wel is de energie groter naarmate de afstand van het electron tot de kern groter is. Dit zal zonder toelichting duidelijk zijn: brengen we het electron naar een verder afgelegen baan over, dan betekent dit, dat we een positieve en een negatieve lading van elkaar af bewegen, en we hebben dus de aantrekkende kracht hiertussen te overwinnen. Het is als met een voorwerp, dat tegen de aantrekkingskracht van de aarde in, omhoog wordt gebracht.

We kunnen dus een atoom voorstellen als een soort amphitheater: elke rang komt overeen met een bepaalde afstand van het toneel (de kern) en een bepaalde toegangsprijs, d.i. de energie die nodig is om het electron

er te brengen. Natuurlijk hangt het er van af, waar het electron vandaan komt. Als uitgangstoestand nemen wij hiervoor de baan met de laagste energie, de z.g. grondtoestand. Dit is dus de baan die de kleinste straal heeft. De vergelijking met het amphitheater gaat dus mank aan het feit, dat de hoogst gelegen plaatsen het duurst zijn!

Zoals voor het overbrengen van een electron op een baan met hogere energie arbeid moet worden verricht, zo komt bij het springen van een hogere baan naar een lagere baan energie vrij.

Deze energie wordt afgegeven als electromagnetische straling. De golflengte van deze straling wordt bepaald door de hoeveelheid energie die bij de sprong vrijkomt, en wel is de golflengte kleiner naarmate de energie groter is.

Het verband wordt gegeven door de formule $E = h\nu = hc/\lambda$, waarin h een constante is, de z.g. constante van Planck, die een waarde heeft van $6,61 \times 10^{-27}$ c.g.s.-eenheden; c , λ en ν staan, evenals op blz. 5, voor de lichtsnelheid, de golflengte en de frequentie.

Sprekend over de energie van een electron, drukken we deze meestal uit in een nieuwe eenheid, de electron-volt (eV); soms zeggen we kortweg volt. Een electron heeft een potentiële energie van één electron-volt gewonnen, als het in een electrisch veld een potentiaalverschil van 1 volt heeft doorlopen. Een electron met een kinetische energie van 1 eV heeft een lineaire snelheid van 595 km/s.

§ 3. TEMPERATUURSTRALING EN LUMINESCENTIE

We hebben dus gezien, dat licht ontstaat bij de sprong van een electron van een baan met hogere energie naar een baan met lagere energie. Opdat er licht zal ontstaan, moet het electron dus eerst in de toestand van hogere energie worden gebracht. Bij de oude, klassieke lichtbronnen geschiedt dit door de lichtuitstralende materie op hoge temperatuur te brengen. Bij de kaars- en petroleumvlammen ontstaan bij de verbranding uiterst fijne deeltjes koolstof, die door de hoge temperatuur van de verbrandingsgassen tot gloeien worden gebracht. Bij het gaslicht wordt de warmte van de verbrandingsproducten overgedragen op de gloeikous, die een zeer hoge temperatuur verkrijgt en daardoor licht gaat uitstralen. Bij de electriche gloeilamp ten slotte wordt de gloeidraad door

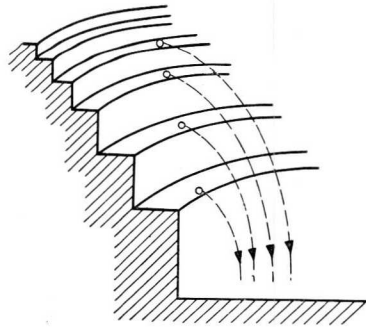


Fig. 2

Schematische voorstelling van elektronensprongen eindigend in de grondtoestand.

de elektrische stroom verhit en zodoende tot gloeien gebracht. Al deze lichtbronnen hebben dus het gemeenschappelijke kenmerk, dat de licht uitstralende stof op hoge temperatuur is.

Behalve door verwarmen, zijn er nog vele andere manieren om een stof tot lichten te brengen. Bij een gasontlading zijn het de botsingen van de electronen met de atomen van het gas, die de energie leveren die nodig is om een van de electronen in de atomen van het gas in de gewenste hogere energietoestand te brengen (anders gezegd: het atoom aan te slaan). Daarnaast kunnen allerlei vaste stoffen licht uitstralen onder invloed van opvallende ultraviolette stralen, kathodestralen, röntgenstralen, radio-actieve stralen. Bij sommige chemische reacties treden lichtverschijnselen op bij temperaturen waarbij van gloeien geen sprake is. Al deze verschijnselen worden samengevat in de term luminescentie.

Al naar gelang de oorzaak van het lichten (kort gezegd: de aanslag), spreken we van (a) electroluminescentie (gasontladingen), (b) fotoluminescentie (aanslag met electromagnetische stralen), (c) kathodeluminescentie (aanslag met kathodestralen) en (d) chemiluminescentie (bij chemische reacties).

Luminescentie treft men aan zowel bij gasen als bij vloeistoffen en vaste stoffen. Het licht van een fluorescentielamp is de resultante van twee luminescentieverschijnselen: (a) het mechanisme van de gasontlading brengt het kwik tot emissie van electromagnetische straling van korte golflengte; deze wordt (b) vervolgens door de luminescerende stof omgezet in zichtbaar licht. Het ontstaan en de bijzonderheden van de electroluminescentie zullen uitvoeriger worden besproken in het hoofdstuk over gasontladingen. Verdunde gasen vertonen echter ook luminescentie bij bestralen met electromagnetische straling. De verschijnselen zijn hierbij veel eenvoudiger dan bij de vaste stoffen die in de lampen worden gebruikt. Wij zullen thans een en ander mededelen over de luminescentie van gasen.

§ 4. LUMINESCENTIE VAN GASSEN

Als we een lichtbundel door een gas laten vallen, en we bestuderen het licht dat het gas verlaat met een spectroscop, dan worden vaak donkere lijnen waargenomen; men noemt deze meestal absorptielijnen. Veelal echter is niet zozeer echte absorptie in het spel, dan wel zijdelingse verstrooiing, waarbij soms ook nog een verandering optreedt in de golflengte. Omzetting van lichtstraling in warmte heeft alleen plaats bij de onderlinge botsingen van atomen of moleculen. Deze kan men uitschakelen door te gaan werken bij zeer lage drukken.

In 1904 ontdekte Wood, dat natriumdamp de lichtstraling met een golf-



Ontvangsthal luchthavenstation. Indirecte verlichting met TL-buislampen.
Verlichtingssterkte 150 lux, lichtstroom 800 lm/m² vloeroppervlak.

lengte overeenkomend met de D-lijn van natrium absorbeert en daarna weer kan uitzenden. Dit verschijnsel werd resonantiestraling genoemd, naar het analoge verschijnsel van de stemvork, die door haar eigen toon tot trillen wordt gebracht en gaat klinken. Hetzelfde verschijnsel vertoont kwikdamp. Men kan dit aantonen in de volgende proef. Men brengt in een kwartsglazen buis, die aan de einden luchtdicht met kwartsglazen plaatjes is afgesloten, een druppel kwik, en evacueert vervolgens. Laat men nu door de buis de straling van een kwarts-kwiklamp vallen, en fotografeert men de buis van opzij tegen een zwarte achtergrond, dan krijgt men op de plaat een beeld van de bundel, juist alsof men de buis gevuld had met tabaksrook of iets dergelijks. Ook de naaste omgeving van de bundel is lichtend geworden. Het zijdelings uitgezonden licht van de bundel zelf is afkomstig van direct door de bundel getroffen atomen. We noemen deze straling primaire resonantiestraling. Het licht, afkomstig van de omgeving, is secundaire resonantiestraling, die is opgewekt door de primaire resonantiestraling. De hoeveelheid van deze secundaire resonantiestraling hangt sterk af van de gasdruk. Is de druk van de lucht in het vat groter dan 3 - 4 mm kwikhoogte, dan vindt men in het geheel geen secundaire straling; naarmate de druk lager wordt, neemt de intensiteit ervan toe, totdat ten slotte de gehele buis ermee is gevuld.

Laat men een door een kwikdamplamp opgewekte 2537-lijn door de resonantiekamer vallen, dan blijkt een belangrijk deel van de straling ongehinderd te passeren (fluorescerend scherm achter de buis). Dit moet worden verklaard uit het feit dat niet de gehele lijn resonantiestraling kan opwekken, maar alleen de kern ervan. De uitlopers, die ook bij een z.g. lijn nog steeds aanwezig zijn, kunnen ongehinderd passeren. Een smallere lijn kan men krijgen, door als 2537-bron eveneens een resonantiekamer te gebruiken. In dit geval is de absorptie van de bundel veel sterker. Bij een toenemende druk van de damp in de kamer, neemt de hoeveelheid secundaire resonantiestraling af, en de ware absorptie van de primaire bundel toe.

De klassieke stralingstheorie kon wel een verklaring geven van de resonantiestraling, die dan opgevat werd als de resonantie van een oscillator. Men kwam echter in moeilijkheden bij het verklaren van het feit, dat soms ook straling met een langere golflengte wordt uitgezonden. Bij de moderne theorie van Bohr bestaat deze moeilijkheid niet. Absorptie heeft plaats door de sprong van een electron naar een hogere baan; van hieruit kan het electron terugvallen, hetzij naar de oorspronkelijke baan, hetzij naar een andere. Absorptie en emissie hebben dus niet gelijktijdig plaats, maar de emissie komt pas na de absorptie.

De resonantiestraling is het eenvoudigste geval van fluorescentie: er wordt slechts één enkele spectraallijn uitgezonden. Naarmate echter de druk van bijv. de kwikdamp hoger is, worden de spectra ingewikkelder. Zoals we hebben gezien, vinden absorptie en emissie niet tegelijkertijd plaats. Het atoom verkeert dus gedurende zekere tijd in de toestand van hogere energie (de aangeslagen toestand). Gedurende die tijd kan het dus botsingen ondergaan met andere deeltjes, waardoor het energie kan verliezen of — maar met veel kleinere waarschijnlijkheid — nog meer energie kan opnemen. De mogelijkheid bestaat, dat ook in deze nieuwe toestand straling wordt uitgezonden, straling die dan een andere golflengte heeft dan die waarmee we het atoom hebben aangeslagen. Zo zien we het kwikspectrum ingewikkelder worden naarmate de druk hoger wordt. De kans om de eigenlijke resonantiestraling te vinden wordt overeenkomstig kleiner. We zullen dit hier niet nader bespreken; het belangrijkste voor ons is, dat we in dichtere systemen de mogelijkheid krijgen van een wisselwerking van een aangeslagen atoom en zijn omgeving.

Er zijn een groot aantal vloeistoffen en oplossingen die fluorescentie vertonen. Vloeistoffen als petroleum, benzeen, paraffine en vele andere, lichten op bij bestraling met langgolvig ultraviolet. Hetzelfde geldt voor oplossingen van chinine, fluoresceïne (dat er zelfs zijn naam aan ontleent) enz. Na wat hier gezegd is, zal het duidelijk zijn, dat de kans op resonantie-fluorescentie hier uiterst gering is. Inderdaad is er geen enkele vloeistof of oplossing bekend, die dit verschijnsel vertoont.

In de vaste toestand onderscheidt men echter enkele gevallen, waarin we vrij zeker van resonantie-fluorescentie moeten spreken. Zo vertoont de natuurlijke of kunstmatig bereide robijn een paar smalle absorptiebanden in het verre rood. Als we een dergelijk kristal bestralen met wit licht, onder afkoelen met vloeibare lucht, dan zendt het licht uit van een golflengte die samenvalt met de genoemde absorptiebanden. Een nader onderzoek toonde aan, dat voor de aanslag alleen verantwoordelijk is het deel van het witte licht dat in golflengte overeenkomt met die van de absorptiebanden. Een analoog geval wordt vermeld voor zinksulfide, eveneens bij zeer lage temperatuur. De lage temperatuur dient om de wisselwerking met de omgeving te verminderen.

§ 5. WET VAN STOKES. AANSLAG EN EMISSIESPECTRUM

Als de golflengte van het uitgezonden licht niet gelijk is aan die van de geabsorbeerde straling, doet zich de vraag voor, welke betrekking er dan tussen bestaat. Stokes stelde in het midden van de vorige eeuw de regel op, dat de golflengte van de uitgezonden straling groter is dan die van de geabsorbeerde. De door het atoom geabsorbeerde straling heeft

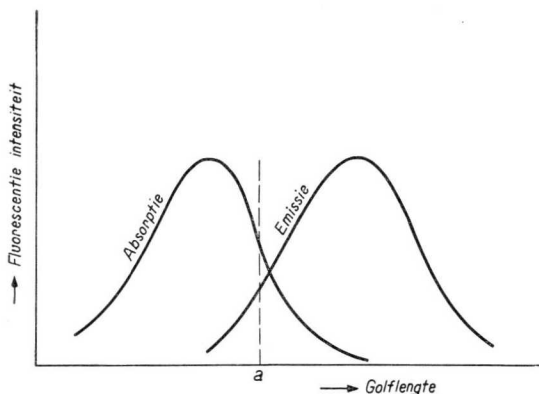


Fig. 3

Gedeeltelijk over elkaar vallende absorptie- en emissiekrommen.

dus grotere energie dan de uitgezondene. Later onderzoek toonde aan, dat dit niet geheel juist is. Het komt wel eens voor, dat in de aangeslagen toestand nog energie wordt opgenomen bij botsingen met soortgenoten. De golfengte van de uitgezonden straling is dan kleiner dan die van de opvallende straling.

In vele gevallen is nagegaan, hoe de intensiteit van de luminescentie afhangt van de golfengte van de opvallende straling. Steeds vindt men dat de luminescentie het sterkst is bij aanslag met straling van een bepaalde golfengte; bij aanslag met straling van grotere of kleinere golfengte is de intensiteit geringer. Het aanslagspectrum heeft dus een klokvorm. Hetzelfde geldt voor de luminescentie zelf. Over het algemeen vertoont ook het luminescentiespectrum een piek bij een bepaalde golfengte; soms echter zijn er meer pieken aanwezig.

Het kan voorkomen, dat de kortgolvige staart van het emissiespectrum over de langgolvige uitloper van het aanslagspectrum valt (zie fig. 3).

Nu is het een algemene regel, dat wel de intensiteit van de fluorescentie afhangt van de golfengte waarmee we bestralen, maar niet de kleur. Een deel van de fluorescentiestraling welke wordt aangeslagen met een straling overeenkomend met een golfengte a (zie figuur 3), heeft dan dus een kortere golfengte dan de opvallende straling. Nauwkeuriger geformuleerd luidt de wet van Stokes dan ook: het zwaartepunt van het emissiespectrum komt met een grotere golfengte overeen dan het zwaartepunt van het aanslagspectrum.

In de meeste gevallen zijn de beide spectra echter duidelijk gescheiden.

§ 6. LUMINESCENTIE VAN VASTE STOFFEN

Na deze algemene beschouwingen over luminescentie, zullen we ons meer in het bijzonder gaan bezighouden met de eigenschappen van de luminescerende vaste stoffen, de z.g. fosforen.

Naast de omzetting van ultraviolette straling in zichtbaar licht tijdens het bestralen (fluorescentie), vertonen vele vaste stoffen nog een merkwaardig verschijnsel: wanneer de bestraling met ultraviolet ophoudt,

licht de stof nog enige tijd na. Soms duurt dit slechts enkele duizendsten secunde, soms minuten en zelfs uren. Dit nalichten noemen we fosforescentie. Fosforescerende stoffen zijn al heel lang bekend; ze werden eerder ontdekt dan de fluorescerende. Dit is geen toeval: voor het constateren van fluorescentie is een ultraviolette stralingsbron noodzakelijk; voor fosforescentie kan natuurlijk zonlicht als aanslagbron dienst doen.

De eerste vermelding van fosforescentie is die rond het jaar 1000 van een Japans priester, die door het branden van oesterschelpen met zwavel een pigment bereidde. Hiermee werd een schilderij van een os gemaakt, die overdag onzichtbaar was, maar in het donker oplichtte.

De eerste Europeaan die een fosforescerende stof bereidde was Vincentius Cascariolus. Hij gloeide zwaarspaat met kool en kreeg een massa die in het donker licht verspreidde. In de litteratuur van de achttiende en de negentiende eeuw worden herhaaldelijk fosforescerende stoffen genoemd; pas tegen het einde van de negentiende eeuw begon men ook de fluorescentie te bestuderen.

Een belangrijke eigenschap van de fosforescentie is, dat de duur ervan sterk van de temperatuur afhangt. Dompelen we een met een fosforescerende verf bestreken plaatje, dat belicht geweest is met U.V. en nog duidelijk zichtbaar nalicht, in heet water, dan zien we het plotseling oplichten en dit verschijnsel weer spoedig verzwakken. Bestralen we een dergelijk plaatje met U.V., terwijl het door middel van vloeibare lucht op lage temperatuur wordt gehouden, dan zien we na het wegnemen van de U.V. bron geen nalichten. Nemen we nu het plaatje uit de vloeibare lucht weg, zodat het op kamertemperatuur komt, dan zien we het nalichten langzamerhand opkomen. De fluorescentie gedraagt zich heel anders; in de meeste gevallen gaat deze ook bij zeer lage temperaturen door. Bij verhogen van de temperatuur wordt ook de fluorescentie op de duur bij alle fosforen zwakker. Bij sommige stoffen begint deze afnemings reeds beneden kamertemperatuur, waardoor ze voor praktische toepassing ongeschikt zijn. Andere fosforen daarentegen blijven tot temperaturen van 400 °C goed fluoresceren.

§ 7. THEORIE VAN DE FLUORESCENTIE EN FOSFORESCENTIE BIJ VASTE STOFFEN

Het is niet de bedoeling hier een volledig overzicht te geven van de theorie der fluorescentie van vaste stoffen. De verschijnselen zijn bovendien zo ingewikkeld, dat de theoretische verklaring ervan op het ogenblik nog maar zeer onvolledig is. Bij verdunde gassen is de zaak vrij eenvoudig. De energieniveaus van de electronen zijn uit de spectra nauw-

keurig af te lezen, en in een geval als het waterstofatoom, waar we de ligging van de energieniveau's kunnen berekenen, zijn zij in goede overeenstemming met die theoretisch berekende waarden.

Een volledige theorie van de fluorescentie van vaste stoffen zou vereisen, dat we weten welke electronenovergang bij een bepaalde emissie in het spel is. Dit wil dus in de eerste plaats zeggen, dat we kunnen aangeven in welk atoom of in welke atoomgroep de sprong plaats heeft. Verder zouden we dan de ligging van de energieniveau's willen berekenen uit die van de alleenstaande atomen in kwestie, rekening houdend met de invloed van de omgeving. In vele gevallen hangt de fluorescentie samen met de aanwezigheid van een kleine hoeveelheid van een vreemd element, de z.g. activator. In de gevallen dat de fosfor een dergelijke activator bevat, ligt het voor de hand de emissie in verband te brengen met deze activator. We stellen ons daarom de vraag: hoe zit zo'n activator nu in de moederstof? Zelfs hierover is men het nog niet eens.

De meeste fosforen zijn kristallijne stoffen. Dit wil zeggen, dat de bouwstenen van de stof een regelmatige rangschikking hebben. Een keukenzoutkristal bijv. is opgebouwd uit natriumionen en chloorionen, die op de hoekpunten van aaneensluitende kubussen liggen. In de richting van deze ribben gaande, ontmoeten we beurtelings een natriumion, een chloorion, een natriumion, een chloorion enz. (zie fig. 4).

In de meeste stoffen is de rangschikking van de ionen minder eenvoudig. Wat betreft de mogelijkheid om er vreemde bestanddelen in onder te brengen maakt dit echter geen verschil, en daarom zullen we ons tot het keukenzout bepalen. Een vreemd metaal kan op verschillende manieren worden ondergebracht. In de eerste plaats kunnen we ons voorstellen, dat metaal*atomen* een plaatsje vinden midden in een kubus; ze maken dan dus geen deel uit van het echte rooster (z.g. tussenroosterplaats). Maar ook kunnen we ons indenken, dat het metaal*ion* de plaats inneemt van een natriumion. In dit geval komt het er dus op neer, dat een deel van de natriumionen is vervangen door de ionen van het vreemde metaal; het vreemde ion maakt dan wél deel uit van het oorspronkelijke rooster.

Aanvankelijk heeft men vermoed, dat de activator op de eerst besproken manier wordt opgenomen, zodat dus de atomen tussen de ionen van de moederstof in liggen. Van deze opvatting is men langzamerhand teruggekomen; thans is men van mening, dat in verreweg de meeste gevallen de activator een deel van de ionen van het moederrooster vervangt.

In zinksilicaat, waarin mangaan als activator optreedt, is in het normale zinksilicaatrooster een deel van de zinkionen vervangen door mangaanionen. In zink-berylliumsilicaat is dan bovendien een ander deel van het

zink door beryllium gesubstitueerd. In de halogeenfosfaten, geactiveerd door antimoon en mangaan, nemen de antimoonionen en de mangaanionen een overeenkomstig deel van de plaatsen in, waar in de ongeactiveerde stof calciumionen zitten.

De eenvoudigste voorstelling die we ons van fluorescentie kunnen vormen is nu, dat de activator de ultraviolette energie absorbeert, waardoor een electron in een hogere baan komt te lopen, daar enige tijd blijft, althans zo lang dat een deel van de energie aan de omgeving kan worden afgegeven, en vervolgens terug-

valt onder afgifte van straling. Door deze afgifte van energie is de sprong terug kleiner en dus de golflengte van het uitgezonden licht langer.

Een dergelijke eenvoudige verklaring gaat soms op; in vele gevallen echter verloopt het fluorescentieproces geheel anders. Het meest bekende voorbeeld hiervan vormen de sulfidefosforen. Deze worden niet voor de TL-lampen gebruikt, maar spelen een belangrijke rol op vele andere gebieden, bijv. in de kathodestraalbuizen voor de televisie. Wordt zink-sulfide, geactiveerd door een spoor zilver, met 2537 \AA bestraald, dan licht het blauw op. We moeten ons hier voorstellen, dat door de absorptie van het U.V. een electron overspringt van een tweewaardig zwavelion op een tweewaardig zinkion. Hierdoor ontstaan een eenwaardig zwavelion en een eenwaardig zinkion. Het merkwaardige nu is, dat dit eenwaardige zinkion zijn extra electron kan afgeven aan een naburig tweewaardig zinkion, dat dus nu op zijn beurt eenwaardig wordt. Op deze wijze kan het extra electron door het gehele rooster zwerven. Iets dergelijks gebeurt met het eenwaardige zwavelion. Van een naburig tweewaardig zwavelion kan er een electron op overspringen, waardoor het dus weer tweewaardig is, en het de buurman is die eenwaardig is geworden. Zo kan dit tekort aan een electron (electronengat) ook door het rooster zwerven. Komt het electronengat in de buurt van de activator, dan neemt het hier een electron van over. Hiervoor is dus nodig, dat de activator een electron bezit met een energie die hoger is dan het heeft

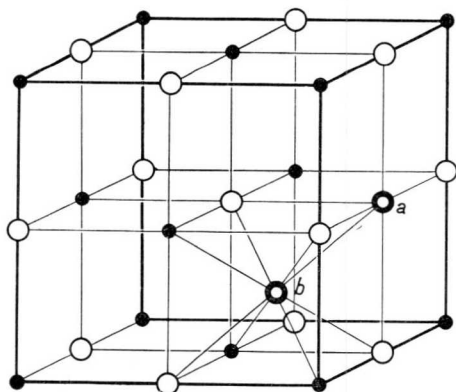


Fig. 4

- Kristalrooster van natriumchloride
Natriumionen
- Chloorionen
- ⊙ a Vreemd positief ion op natriumplaats
- ⊙ b Vreemd atoom op tussenroosterplaats

in een tweewaardig zwavelion. Het electronengat is nu overgedragen op de activator, en ligt nu verder vast. Komt het electron dat via de zinkionen door het rooster zwerft, bij de activator, dan kan het hierop overspringen, waardoor het electronengat weer wordt opgevuld; dit gaat gepaard met de afgifte van fluorescentiestraling.

Als we de energietoestanden van de electronen in een dergelijke stof willen aangeven, dan tekenen we het energieniveau van die welke bij de eenwaardige zinkionen en de tweewaardige zwavelionen behoren als doorlopende lijnen, aangezien een electron niet aan een bepaalde plaats is gebonden.

Het energieniveau van het bij de fluorescentie betrokken electron van de activator krijgt een kort streepje, om het locale karakter aan te geven. Zoals gezegd, ligt het wat boven de energie van de zwavelelectronen. We komen zo tot fig. 5:

In A wordt een electron van een zwavelion naar een zinkion overgebracht, dat hierdoor eenwaardig wordt. Het electronengat komt via de zwavelionen bij de activator D terecht. Een electron valt uit D terug ($DC \rightarrow$) en vult het tekort bij de zwavelionen weer op. Het opgeheven electron komt in E en valt terug (pijl ED) onder uitzending van de fluorescentiestraling. Bij fosforescentie bestaan in de stof energieniveau's G, die iets lager liggen dan die van dat electron bij een eenwaardig zinkion. Normaal is dit niveau onbezet (in tegenstelling dus tot de D-niveau's), d.w.z. er is geen electron aanwezig dat ook werkelijk een energie, overeenkomend met G, heeft. Komt echter het zwervende electron ter plaatse, dan wordt het daar gevangen. Tenzij het electron weer wordt omhoog gewipt, blijft het er zitten. De energie voor dit opwerpen kan worden geleverd door de warmtebeweging. Hoe hoger de temperatuur, des te groter de kans dat de sprong spoedig plaats heeft.

Deze vangplaatsen kan men introduceren door het inbouwen van vreemde

ionen. Bij zinksilicaat, geactiveerd met mangaan, doet arsenicum als zodanig dienst.

We zullen niet bespreken hoe men tot deze voorstellingen komt. Echter willen we één proef noemen, die duidelijk demonstreert dat de luminescentieverschijnselen ten nauwste samenhangen met het beweeglijk maken en vangen van electronen.

Brengt men een laagje luminescerend zinksulfide tussen twee metalen

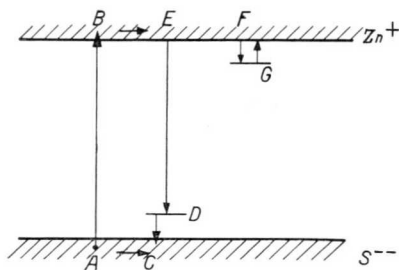


Fig. 5

Ligging van de energieniveau's bij zink-sulfidfosforen.

platen en legt men tussen deze platen een spanning aan, dan zal er geen elektrische stroom lopen, want zinksulfide is een isolator. Bestraalt men echter het poeder met U.V., dan blijkt een stroom te gaan lopen, en de fosfor fluoresceert. Na beëindigen van de bestraling zakken stroom en licht beide terug. Bij plotseling verwarmen licht het poeder op; tegelijkertijd neemt de stroomsterkte toe, waarna beide verschijnselen snel terugvallen.

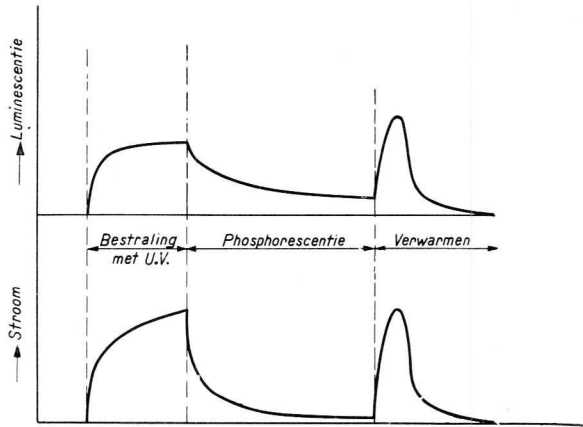


Fig. 6
Analogie tussen luminescentie en elektrische geleiding bij bestralen van een sulfidefosfor.

Behalve door verwarmen, kan men gevangen electronen ook bevrijden met behulp van infrarode stralen. Hiervan wordt gebruik gemaakt bij infrarood-fosforen. Deze bevatten twee activatoren; de ene levert de niveau's overeenkomend met D in figuur 5, de andere die van de vangplaatsen, G.



Indirecte verlichting in serre op oceanstomer.
Buislampen TL-40 W, wit, in koven.

DR. J. L. OUWELTJES

LUMINESCERENDE STOFFEN

§ 1. SAMENSTELLING VAN LUMINESCERENDE STOFFEN

We kennen luminescerende stoffen van allerlei aard. Sommige komen in de natuur voor, bijv. het mineraal fluoriet (CaF_2), waaraan de naam fluorescentie is ontleend. Daarnaast zijn bekend het willemiet (een zinksilicaat), scheeliet (calciumwolframaat) en sommige zinkblendes (zinksulfiden).

Soms is de fluorescentie het best als de stof zo zuiver mogelijk is, soms ook treedt de fluorescentie alleen op indien een kleine hoeveelheid van een vreemd element aanwezig is. Uranylzouten, d.w.z. stoffen die de groep UO_2 als metaal bevatten, fluoresceren in zuivere toestand; zo ook de verschillende wolframatens, als calciumwolframaat en magnesiumwolframaat.

Voorbeelden van het tweede type zijn: calciumsulfide waaraan een spoor bismuth is toegevoegd, en de edelsteen robijn, die bestaat uit aluminiumoxyde, Al_2O_3 , waarin sporen chromium aanwezig zijn. Zinkberylliumsilicaat en cadmiumboraat zijn volkomen onwerkzaam als niet een kleine hoeveelheid mangaan is toegevoegd.

Deze kleine toevoeging vreemd bestanddeel noemt men activator. De hoeveelheid van de activator kan sterk verschillen: bij zinksulfide, geactiveerd met koper, voegen we 0,01% koper toe; cadmiumboraat bevat 0,1% mangaan, zinkberylliumsilicaat 2½% mangaan. Om aan te duiden hoe een fluorescerende stof in elkaar zit, schrijven we eerst de formule van het hoofdbestanddeel en daarna die van de activator, beide verbonden door een streepje - dus bijv. ZnS-Cu , $\text{Cd}_2\text{B}_2\text{O}_5\text{-Mn}$.

Toen men bij het zoeken naar nieuwe fluorescerende stoffen, eenmaal in de activering het leidende principe had gevonden, bleek al spoedig, dat er niet enkele, maar tientallen fluorescerende stoffen bestaan.

Toch moeten we bij het gebruik van fluorescerende stoffen in lampen steeds weer op een paar typen terugkomen, zodat we ten slotte dus maar een zeer geringe keus hebben. Om de vraag te beantwoorden hoe dit komt, zullen we de verschillende eisen nagaan waaraan een fluorescerende stof voor onze lampen moet voldoen.

§ 2. EISEN VOOR HET PRACTISCH GEBRUIK VAN FLUORESCERENDE STOFFEN

1. *Ze moeten het ultraviolet, dat in de betreffende lamp wordt opgewekt, absorberen.*

Voor gebruik in de lage-druk kwiklamp betekent dit, dat de kwiklijn 2537 moet worden geabsorbeerd. En dit niet alleen: we moeten ook eisen dat deze absorptie zeer sterk zij. We willen dat alle ultraviolet door de fluorescerende laag wordt opgenomen, en aangezien deze laag heel dun is (ongeveer $10 \mu = 0,01$ mm), moet de stof het U.V. wel heel sterk absorberen. Er bestaan stoffen die wel fluoresceren onder straling van kortere golflengte, maar niet onder de 2537. Ook zijn er stoffen die wel oplichten onder kathodestrallen, maar niet onder 2537. Voorbeeld: $(\text{CaMg})\text{SiO}_3\text{-Ti}$, dat onder kathodestrallen heel goed is en dan ook in televisiebuizen wordt gebruikt, doch onder de 2537 practisch onwerkzaam is. Verder zou het ook nog prettig zijn, dat de 1850 Å lijn, die voor 10-20% in de straling van de kwikontlading aanwezig is, goed werd geabsorbeerd. Dit is wel steeds het geval indien ook de 2537 goed wordt geabsorbeerd.

2. *Ze moeten het U.V. met een hoog rendement omzetten in zichtbaar licht.* Hier doet zich de vraag voor, hoe we het rendement het best kunnen aangeven en wat we maximaal kunnen verwachten. Is het zó, dat we de energie die we in de vorm van het U.V. aan de stof toevoeren, ook geheel in de vorm van zichtbaar licht kunnen terugkrijgen?

De onderzoekingen hebben aangetoond dat dit niet het geval is. We weten dat we straling niet in willekeurige porties kunnen verdelen. Zoals de stof uit atomen bestaat, zo bestaat licht uit quanten ¹⁾, en wel is het zó, dat de energie van een quant bedraagt:

$$E = h\nu,$$

waarin weer $h =$ planckse constante
en $\nu =$ frequentie.

Een lichtquant van 2537 Å heeft dus een grotere energie dan een lichtquant overeenkomend met bijv. de natriumlijn van 5790, en wel verhouden deze energieën zich als 5790 : 2537, dus zijn de energieën omgekeerd evenredig met de golflengten.

Het gunstigste wat we nu kunnen bereiken is, dat we voor elk ultraviolet quant een zichtbaar quant terugkrijgen. Om nog even bij de omzetting 2537 → 5790 te blijven: we verliezen hierbij dus steeds $\frac{5790 - 2537}{5790}$, d.i. rond 60% van de energie.

¹⁾ Men kan dit interpreteren als de moderne vorm van Newton's hypothese (vergelijk pag. 5).

We drukken de kwaliteit van een fluorescerende stof daarom uit in het quantenrendement, aangevend de verhouding van de hoeveelheid quanten zichtbaar licht die wordt uitgezonden tot de hoeveelheid opgenomen U.V.-quanten. De quantenrendementen van de stoffen voor de TL-lampen liggen rond de 80%.

Is het nu zo, dat het quantenrendement ook een directe maat voor de hoeveelheid licht is? Dit is niet het geval. Vergelijken we bijv. een stof die blauw licht uitzendt met een stof welke geelgroen licht geeft, dan zal bij gelijk quantenrendement de geelgroene stof meer licht uitzenden dan de blauwe. Dit is een gevolg van het feit, dat ons oog voor geelgroene straling veel gevoeliger is dan voor blauwe. Het is dus niet goed de kwaliteit van de fluorescerende stof uitsluitend af te meten aan de hoeveelheid lichtenergie, we moeten ook rekening houden met de kleur van het licht.

3. *De stof moet bij voorkeur geen zichtbare straling absorberen.*

Dit is zonder verdere uiteenzettingen duidelijk. De absorptie van een deel van het spectrum (in de practijk het blauwe einde) zou slechts een verlaging van het rendement betekenen. Men streeft er daarom zoveel mogelijk naar, ongekleurde fosforen te gebruiken.

4. *De stof moet bij voorkeur iets nalichten.*

Alle gasontladingslampen hebben bij bedrijf op wisselstroom een z.g. donkere periode waarin geen U.V. straling wordt uitgezonden. Het is dus voordelig, dat de fosfor enigszins nalicht, waardoor de donkere periode wordt opgevuld. De zinkberylliumsilicaten hebben een nalichttijd van $\pm 0,01$ sec; die van magnesiumwolframaat bedraagt $\pm 10^{-5}$ sec. Een mengsel van beide stoffen, als in de meeste lampen wordt gebruikt, zal dus in de donkere periode alleen de emissie van het silicaat geven en een tekort aan blauw hebben. Hiervan merkt men echter in de practijk niets.

5. *De stof moet bestand zijn tegen de kwikontlading.*

De fosforen worden in de fluorescentielampen tegen de binnenkant van de buis aangebracht; ze zijn dus in direct contact met de gasontlading en het daarin aanwezige kwik. Dit brengt hoge eisen mee wat betreft de chemische bestendigheid. Bij onvoldoende chemische resistentie zou de fosfor tijdens het branden van de lamp ontleden, waardoor de werkzaamheid ervan sterk vermindert. In de laatste jaren zijn op dit punt aanzienlijke verbeteringen bereikt; de terugval van de hoeveelheid licht is bij de moderne fluorescentielamp niet groter dan bij de gloeilamp.

6. *Soms moet de lichtopbrengst bij hoge temperatuur voldoende groot zijn.* Bij lampen met een groter vermogen begint ook de temperatuur een

rol te spelen. Dit brengt mee, dat sommige fosforen in lampen met grotere vermogens minder goede resultaten geven dan in kleinere lampen. Ook op dit gebied is de laatste jaren een aanzienlijke verbetering bereikt. Vooral de halogeenfosfaten (zie blz. 24) betekenen een belangrijke vooruitgang.

§ 3. BEREIDING EN EIGENSCHAPPEN VAN DE PRACTISCH GEBRUIKTE FLUORESCERENDE STOFFEN

1. *Silicaten*

Het vroegst bekende silicaat was het groen lichtende, met 0,2 - 2% mangaan geactiveerde zinksilicaat. Later vond men, dat door toevoegen van beryllium de kleur van groen kan opschuiven naar geel en zelfs naar oranje-rood. De kleur hangt af van het beryllium- en van het mangaangehalte. Dit laatste vindt men ook al bij het zinksilicaat: als het mangaangehalte wordt verhoogd, loopt de kleur iets naar het geel. Bij de zink-berylliumsilicaten is deze verschuiving veel markanter. Dit blijkt uit het volgende tabelletje:

<i>Mangaangehalte</i>	<i>Kleur</i>
0,90 %	groengeel
1,25 %	geel
2,5 %	geeloranje
3,3 %	oranje
4,8 %	oranjerood

Willemiet, het zinksilicaat, vertoont een betrekkelijk smalle emissieband met een top bij 5250 Å. Voegen we beryllium toe, dan ontstaat een tweede emissieband met een top bij 6100 Å, dus in het oranje-rood.

Verhogen we nu het mangaangehalte, dan groeit deze nieuwe band

ten koste van de groene. Hierdoor wordt de kleur van de stof hoe langer hoe meer die van de stof welke uitsluitend in de rode band emitteert.

De absorptie van het ultraviolet vertoont het volgende beeld. Zuiver zinksilicaat laat het

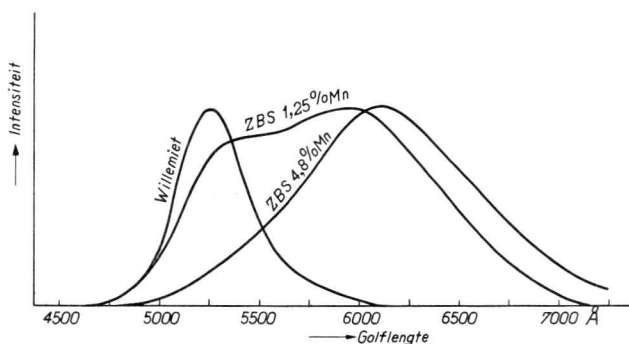


Fig. 7

Spectrale energieverdeling van zinksilicaat en zink-beryllium-silicaat.

U.V. door tot 2200 Å; straling van kleinere golflengte wordt geabsorbeerd. Als we mangaan toevoegen, ontstaat een geheel nieuwe absorptie bij langere golflengte. De absorptie van de 2537 kwiklijn heeft dus plaats door het mangaan. De aanwezigheid van beryllium verandert hieraan niets. Het aanslagspectrum vertoont een top in de buurt van 2500 Å, maar toch heeft ook aanslag plaats bij kortere golflengte.

Het quantenrendement van het zink-berylliumsilicaat en het zinksilicaat ligt tussen de 80 en de 85%. Het quantenrendement is minder goed naarmate het mangaangehalte hoger is. Voor de roodste zink-berylliumsilicaten is het niet meer dan 70%. Dit maakt het noodzakelijk in sommige gevallen een rodere fosfor (cadmiumboraat) te gebruiken.

De chemische samenstelling kunnen we het best aangeven door de formule



Hiermee duiden we aan, dat zink, beryllium en mangaan gelijkwaardig zijn. De beryllium- en mangaanionen vervangen een deel van de zinkionen in het zink-silicaatrooster.

De bereiding is in principe zeer eenvoudig: men maakt een mengsel van zinkoxyde, berylliumoxyde, mangaanoxyde en kiezelzuur in de juiste gewichtsverhouding, en stoekt dit op een temperatuur van ongeveer 1200°. In plaats van de oxyden, kan men ook stoffen nemen die bij verhitten ontleden en daarbij de oxyden vormen. Zo wordt vaak het mangaan toegevoegd als mangaancarbonaat, MnCO_3 , dat bij verhitten ontleedt volgens de vergelijking



Men moet er echter voor zorgen dat de grondstoffen zeer zuiver zijn. Als kleine hoeveelheden van verschillende metalen, als ijzer, nikkel, cobalt e.d., aanwezig zijn, merken we dit aan de minder goede lichtopbrengst. Globaal kan men zeggen, dat het gehalte van deze schadelijke elementen niet groter mag zijn dan enkele duizendsten van een procent. Dit brengt mee, dat veelal speciale zuiveringsmethoden moeten worden toegepast.

2. *Magnesiumwolframaat*

Deze stof zorgt voor het blauwe deel van het licht. De absorptie toont een brede band, die tussen de 2500 Å en 3000 Å afvalt. De 2537-lijn wordt zodoende zeer sterk geabsorbeerd. Het emissiespectrum vertoont een zeer brede band, die vrijwel over het gehele zichtbare spectrum loopt. Er is een vrij vlak maximum bij 4800 Å.

In magnesiumwolframaat is geen activator aanwezig. Men beweert wel eens dat er een kleine hoeveelheid wolfram in een andere waardigheidstoestand in aanwezig is, maar hiervoor ontbreekt voldoende experimentele steun.

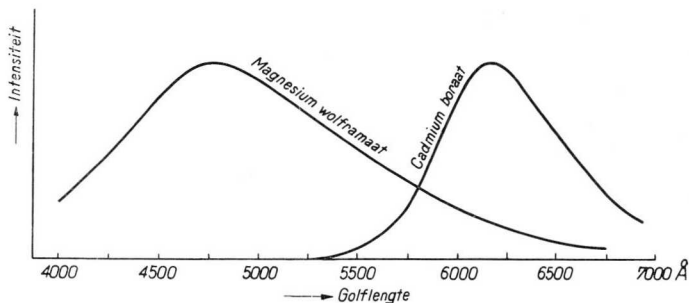


Fig. 8

Spectrale energieverdeling van cadmiumboraat en magnesiumwolframaat.

De bereiding is eenvoudig: men mengt heel zuiver magnesiumoxyde en wolframzuur door er een natte pasta van te maken. Deze wordt drooggedampt, een poosje verhit

op $\pm 250^\circ\text{C}$ en ten slotte gestookt op ongeveer 1000°C .

Het quantenrendement van magnesiumwolframaat is rond 80%. Men gebruikt ook calciumwolframaat, o.a. in de reclamelichtbuizen; het is iets dieper blauw dan het magnesiumwolframaat.

3. Cadmiumboraat

Cadmiumboraat wordt gebruikt waar het gaat om een hoog roodgehalte in het licht van de lampen. De formule is $\text{Cd}_2\text{B}_2\text{O}_5$, met 0,1% mangaan. In overeenstemming hiermee vertoont cadmiumboraat een absorptiespectrum dat gedeeltelijk afkomstig is van het zuivere cadmiumboraat, gedeeltelijk wordt veroorzaakt door het toegevoegde mangaan. De absorptie van het cadmiumboraat zelf loopt even voorbij de 2537 \AA ; het mangaan vormt weer een uitloper, die doorloopt tot voorbij de 3000 .

Het emissiespectrum heeft een band die loopt van 5500 - 7000 , met een top bij 6200 \AA . Het quantenrendement is bij goede bereiding boven de 85%. Bij de bereiding gaan we uit van een mengsel van cadmiumcarbonaat en mangaancarbonaat. Dit wordt gemengd met boorzuur of ammoniumboraat en daarna verhit op ongeveer 800°C .

4. Halogeenfosfaten

Werden tot voor kort vrijwel alle lampen gemaakt met behulp van de reeds besproken fosforen, bij het verschijnen van dit boek is een nieuwe fosfor bezig de tot nu toe gebruikte te verdringen. Het gaat hier over de z.g. halogeenfosfaten, die tijdens de tweede wereldoorlog in Engeland zijn ontwikkeld en nu snel terrein winnen. Vergeleken bij de oude fosforen hebben ze het voordeel van een groter lichtrendement en een betere bestandigheid tegen de kwikontlading, terwijl ze bovendien zonder verdere toevoeging wit licht geven. De samenstelling is analoog aan die van het natuurlijke mineraal apatiet, dat de formule

$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ heeft. Fluor kan geheel of gedeeltelijk zijn vervangen dooreenander eenwaardig element, bijv. chloor. De praktisch gebruikte fosforen bevat zowelfluor als chloor. Een deel van het

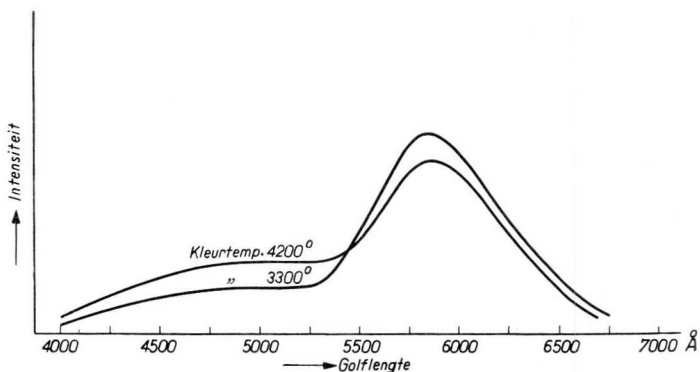


Fig. 9

Spectrale verdeling van de emissie van twee halofosfaten met kleurtemperaturen 3300 en 4200°.

calcium is nu vervangen door antimoon en mangaan, die beide als activator dienst doen. Het antimoon geeft een blauwe, het mangaan een gele tot orangerode emissieband. De ligging van deze laatste wordt hoofdzakelijk bepaald door de verhouding fluor-chloor. Verhogen van het chloorgehalte verschuift de band naar langere golflengten. Over deze fosforen is nog slechts weinig gepubliceerd. Interessant is dat, bij weglaten van het mangaan, het blauwe licht wordt verkregen dat afkomstig is van het antimoon; wordt echter het antimoon weggelaten, dan krijgen we niet de zuiver gele of oranje emissie van het mangaan, maar de stof licht in het geheel niet op bij bestralen met de 2537 Å-lijn. Het antimoon heeft dus een dubbele taak: het zorgt zowel voor de absorptie van het ultraviolet als voor de emissie van de blauwe straling. Een deel van de door het antimoon geabsorbeerde energie wordt echter overgedragen aan het mangaan, dat hierdoor tot lichten wordt gebracht. Hoe deze overdracht precies in haar werk gaat, is nog niet geheel bekend. Het is niet zo, dat de blauwe straling het mangaan tot emissie brengt, want een mengsel van twee afzonderlijke, met mangaan en antimoon geactiveerde fosfaten, geeft wel de blauwe emissie, maar niet de gele.

§ 4. KORRELGROOTTE VAN FLUORESCERENDE STOFFEN

Een belangrijke factor in het gebruik van fluorescerende stoffen is de korrelgrootte, daar deze in eerste instantie bepaalt hoeveel poeder we in de buis moeten aanbrengen. Dit is als volgt in te zien. Over het algemeen zijn de fosforen voor 2537 Å straling volkomen ondoorlatend; een op een poeder vallende bundel U.V. wordt reeds in de eerste korrel laag volledig geabsorbeerd, uitgezonderd straling die tussen de korrels

van de eerste laag doorvalt, welke in de daaronder gelegen lagen wordt opgenomen. We moeten nu de laag zo dik maken (zie ook blz. 27), dat er tussen de korrels door juist geen U.V. in het glas meer terecht kan komen. Zien we af van verschillen in de stapeling van de korrels, dan kunnen we zeggen, dat hiervoor een aantal lagen nodig is dat onafhankelijk is van de korrelgrootte. Het gewicht van deze lagen is echter evenredig met de korrelgrootte, zodat ook de hoeveelheid stof die nodig is voor het juist bedekken van een wand, evenredig is met de korrelgrootte. Moeilijker is het aan te geven hoe de lichtopbrengst van de lamp afhangt van de korrelgrootte. In de litteratuur ziet men vaak de opmerking, dat een grovere korrel gepaard gaat met een betere lichtopbrengst van de lamp. Hoewel dit in bijzondere gevallen juist kan zijn, is het toch geen uitgemaakte zaak dat dit een vaste regel is. Het hangt er geheel van af hoe de grove en de fijne fosfor die worden vergeleken, verkregen zijn. Maakt men een suspensie en splitst men deze door bezinken in een grovere en een fijnere fractie, dan bestaat de kans dat de fijne deeltjes zijn ontstaan tijdens het malen en daardoor meer te lijden hebben gehad. Gaat men, voor het maken van magnesiumwolframaat, uit van een mengsel van grondstoffen, bijv. magnesiumoxyde en wolframzuur, en bereidt men hieruit door hoger en lager stoken, grovere en fijnere poeders, dan loopt men de kans dat het grovere poeder beter doorgereageerd is en daardoor betere resultaten geeft. Deze kwesties maken het voorlopig nog zeer moeilijk de invloed van de korrelgrootte los van andere factoren te bestuderen.

In de praktijk is de korrelgrootte van de fosforen voor fluorescentielampen 0,5 - 5 μ . Bij een dergelijke korrelgrootte is de hoeveelheid van de fosfor, nodig voor een normale 40 W lamp (120 cm lang, 38 mm diam.), 1 - 4 g.

§ 5. AANBRENGEN VAN DE FLUORESCERENDE LAAG IN DE LAMP

Voor het aanbrengen van de fosforen kunnen we verschillende methoden toepassen. De oudste methode is het aanbrengen van een plakkende laag in de buis. Hierna brengt men er een hoeveelheid van de fosfor in. Door draaien van de buis en kloppen wordt het poeder zo gelijkmatig mogelijk over de buis verdeeld. De plakkende laag kan men bijv. verkrijgen door fosforzuur in een vluchtig oplosmiddel te brengen en de oplossing door de buis te gieten. Het oplosmiddel verdampt en een uiterst dunne laag fosforzuur blijft achter.

Deze methode kost veel poeder. Het is nodig dat het poeder goed rul is, en dit is alleen het geval bij poeders met een grove korrel; zoals we gezien hebben brengt dit een dikkere fosforlaag mee. Bovendien is een

dergelijke methode moeilijk te mechaniseren. Vandaar dat men is overgegaan op een „natte” methode. Hierbij wordt de fosfor in een verdunde nitrocelluloselak gesuspendeerd, meestal door malen in een kogelmolen. Men giet de suspensie door de buis en laat ze drogen. Een dunne fosforlaag blijft in de buis achter; na drogen wordt de nitrocellulose verbrand. In tegenstelling tot de plakmethode, kan men hier het best fijnkorrelige fosforen gebruiken, aangezien deze in de suspensie minder snel bezinken en beter aan de glaswand hechten. Het poederverbruik per buis is dus lager en mechanisering is niet moeilijk. Een bezwaar is, dat de meeste fosforen gevoelig zijn voor mechanische invloeden en bij het malen in een kogelmolen aan lichtopbrengst inboeten. Het gaat er dus om een geschikt compromis te vinden tussen fijnheid van de fosfor in suspensie en de lichtopbrengst ervan.

§ 6. DE FLUORESCERENDE LAAG IN DE LAMP

De lichtopbrengst van een fluorescentielamp is mede afhankelijk van de laagdikte waarin de fosfor is aangebracht. Dit is gemakkelijk in te zien. Bij een dunne laag, waarin tussen de korrels nog openingen overblijven, kan ultraviolette straling in het glas verdwijnen zonder in zichtbaar licht te zijn omgezet. Maken we de laag dikker, dan neemt de hoeveelheid niet omgezet U.V. af en de lichtopbrengst neemt toe. Dit gaat door tot practisch alle U.V. wordt opgenomen in de fosforlaag. Laten we de laagdikte nog verder toenemen, dan daalt de lichtopbrengst van de lamp weer doordat de verstrooiing van het zichtbare licht toeneemt. Ook in de laag met maximale lichtopbrengst gaat door verstrooiing een deel van het zichtbare licht verloren. Metingen aan buizen waarin een bron van zichtbaar licht was geplaatst, en metingen van lampen met een dubbeldikke fosforlaag, leidden tot de conclusie dat in een normale lamp 5-10% van het licht door verstrooiing verloren gaat.

Om een zo groot mogelijk rendement van de lamp te krijgen, moet de laagdikte van de fosfor dus voortdurend worden gecontroleerd. Dit kan op verscheiden manieren gebeuren, bijv. door het poedergewicht per cm^2 te controleren. Beter is het echter de laagdikte te controleren langs optische weg. Men kan de reflectie meten van een smalle lichtbundel die van buiten op de buis valt, of ook wel de hoeveelheid licht die wordt doorgelaten als een spleetvormige lichtbron in de buis wordt geplaatst. Vrijwel onafhankelijk van de korrelgrootte, wordt het beste rendement van de lamp gevonden bij constante optische eigenschappen van de laag. Dit hangt samen met het feit, dat de verstrooiing van een stof per gewichtseenheid omgekeerd evenredig is met de korrelgrootte. We hebben reeds gezien, dat de hoeveelheid van de fosfor per cm^2 ,

nodig voor het juist bedekken van de wand, evenredig is met de korrelgrootte. Licht nu het maximale rendement van de lamp bij een dusdanige laagdikte dat juist geen U.V. meer kan ontsnappen, dan volgt uit het bovenstaande, dat voor deze laagdikte de verstrooiing constant is en onafhankelijk is van de korrelgrootte.

Zeer belangrijk is ook het gedrag van de fosfor tijdens het branden van de lamp. Alle fosforen verliezen gedurende het branden een deel van hun fluorescerend vermogen, echter niet alle in dezelfde mate. Cadmiumboraat valt sterk terug, zo ook willemiet. Zink-berylliumsilicaat, dat slechts van willemiet verschilt doordat een deel van het zink door beryllium is vervangen, is veel beter. Magnesiumwolframaat is eveneens goed, evenals de nieuwe halogeenfosfaten. De oorzaken van deze daling zijn nog niet geheel bekend. Vast staat, dat het oppervlak van de fosfor op de duur kwik opneemt, waardoor het U.V. niet meer in de korrel kan doordringen. Daarnaast speelt in sommige gevallen (cadmiumboraat, willemiet) ook de fotochemische ontleding van de fosfor een rol. Veel hangt echter ook af van de bereiding van de fosfor.

Interessant is het effect van sporen stikstof in de gasontlading. De lichtsterkte van de lamp bij het begin wordt er iets door verlaagd; de terugval echter wordt er aanzienlijk door verbeterd, zodat de lampen na 100 uur al meer licht geven dan de lampen zonder stikstof. Dit blijft zo gedurende de rest van de brandduur. De verklaring van dit effect is niet bekend. Vermoedelijk vormt zich een heel dun laagje van een kwik-stikstofverbinding over de fosforlaag, die hierdoor tegen de werking van de gasontlading wordt beschermd.

Behalve met stikstof, kan het kwik onder invloed van de ultraviolette straling ook met andere verontreinigingen uit het gas reacties aangaan. Met zuurstof, koolmonoxyde en koolzuur ontstaat kwikoxyde; in de laatste twee gevallen daarnaast ook koolstof. Deze reactieproducten zetten zich eveneens af op de fluorescentielaag, doch in tegenstelling met de stikstofverbindingen hebben ze slechts een ongunstige invloed op het rendement.

LITTERATUUR OVER FLUORESCENTIE EN FLUORESCERENDE STOFFEN

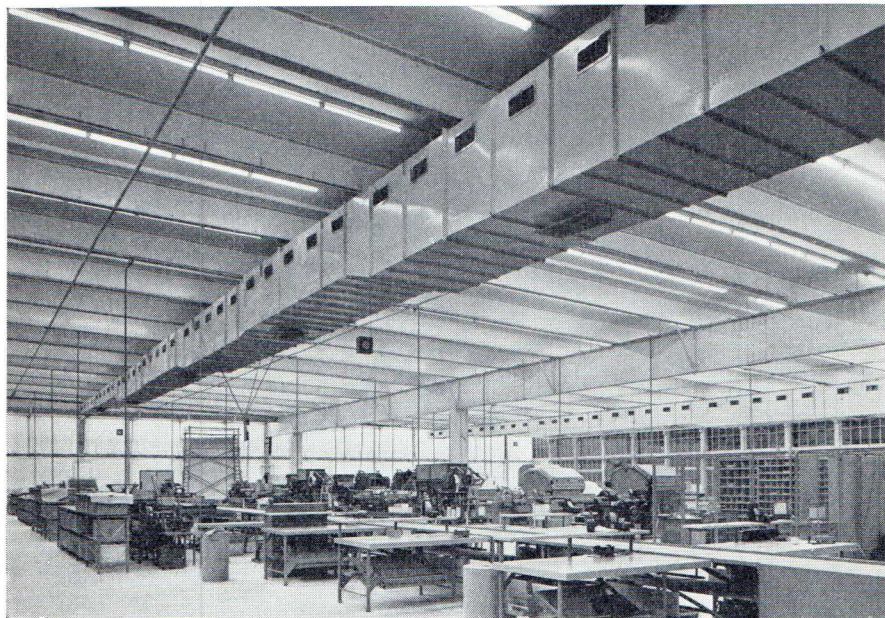
F. A. KRÖGER: *Some Aspects of the Luminescence of Solids*, Elsevier Publ. Comp. 1948.
G. R. FONDA en F. SEITZ: *Preparation and Characteristics of Solid Luminescent Materials*, John Wiley & Sons, 1948.

N. RIEHL: *Physik und technische Anwendungen der Lumineszenz*, Springer 1941.

P. PRINGSHEIM en M. VOGEL: *Luminescence of Liquids and Solids*, Interscience Publ. Inc. 1943.

H. W. LEVERENZ: *An Introduction to Luminescence of Solids*, John Wiley & Sons, 1950.

P. PRINGSHEIM: *Fluorescence and Phosphorescence*, Interscience Publ. Inc. 1949.



Zaal voor het sorteren van tabak. Buislampen TL-40 W afgeschermd door middel van de stalen balken van het plafond. Verlichtingssterkte 80 lux, lichtstroom 280 lm/m².



Conferentiekamer. Diffuse algemene verlichting met buislampen TL-40 W in het plafond, afgeschermd met lichtroosters. Aanvullende directe verlichting met reflector-gloeilampen in het plafond.

DR. A. A. KRUIHOF

KLEUR VAN HET LICHT VAN BUISVORMIGE FLUORESCENTIELAMPEN; KLEUR WEERGAVE

§ 1. HET MENGEN VAN FLUORESCERENDE STOFFEN

In het vorige hoofdstuk is gebleken, dat de fluorescerende stoffen die in fluorescentielampen worden gebruikt, licht van zeer uiteenlopende kleuren kunnen uitzenden: Cadmiumboraat geeft diep rood, willemiet groen en magnesiumwolframaat blauw licht. De soms felle kleuren zijn een gevolg van het feit, dat de spectrale emissiebanden van vele van deze stoffen vrij smal zijn. Wil men met het licht van de fluorescentielampen het gehele zichtbare spectrum bestrijken, dan is het vaak nodig mengsels van fluorescerende stoffen te gebruiken.

Het mengen van fluorescerende stoffen nu voert tot een geheel ander resultaat dan het mengen van verven. Het is bijvoorbeeld welbekend, dat bij het mengen van een gele en een blauwe verf, zoals in fig. 10 is weergegeven, een groene verf ontstaat. Dit is als volgt te verklaren: In fig. 11 is schematisch uitgezet welke delen van het spectrum van het licht dat op de beide verven valt, weer worden uitgestraald of geremitterd. In de rest van het spectrum wordt het licht door de verf weggenomen of geabsorbeerd: de gele verf absorbeert het blauwe licht, de blauwe verf het gele. Door het mengen van de verven worden zij beide verdund; zij absorberen ieder wat minder licht, maar de lichtstralen ontmoeten in het verlaagde zowel gele als blauwe korrels. De resulterende remissiekromme, die in fig. 11 gestreept is getekend, heeft een minimum in het blauw dat afkomstig is van de gele korrels, en een in het geel, afkomstig van de blauwe korrels. Daartussen, in het groen,

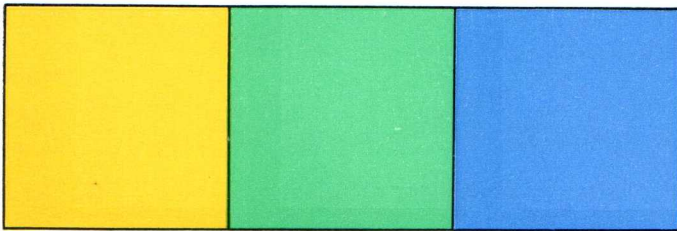


Fig. 10

Bij het mengen van een gele en een blauwe verf ontstaat, evenals bij het over elkaar drukken van gele en blauwe inkt, een groene kleur.

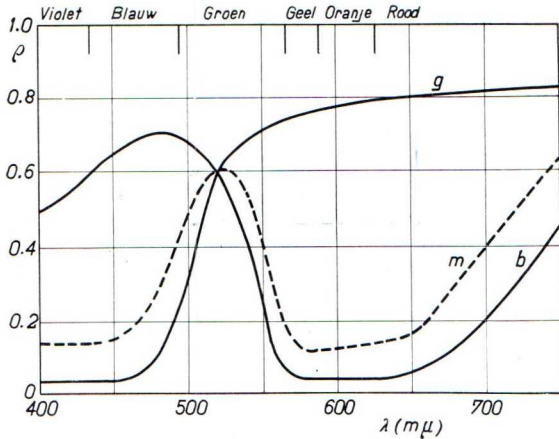


Fig. 11

Verklaring van het verschijnsel van fig. 10:

g = remissiekromme van de gele verf

b = remissiekromme van de blauwe verf

m = remissiekromme van het mengsel

ρ = remissiefactor

λ = golflengte van het licht in $m\mu$; $1 m\mu = 10 \text{ \AA}$
 $= 0,001 \text{ mm}$

Bovenaan de figuur is aangegeven, welke kleur de verschillende golflengten vertonen voor een gemiddelde waarnemer.

blauwe en groene. Bij menging van de stoffen in een bepaalde verhouding, is de uitgezonden energie van het mengsel ongeveer voor de helft afkomstig van de geel fluorescerende stof, voor de andere helft van de blauw fluorescerende. Bij elke golflengte moeten wij, om de door het mengsel uitgezonden energie te krijgen, bij elkaar optellen de helft van de door

Fig. 12

Mengen van een geel- en van een blauw fluorescerende stof:

g = spectrale energieverdeling van de gele stof

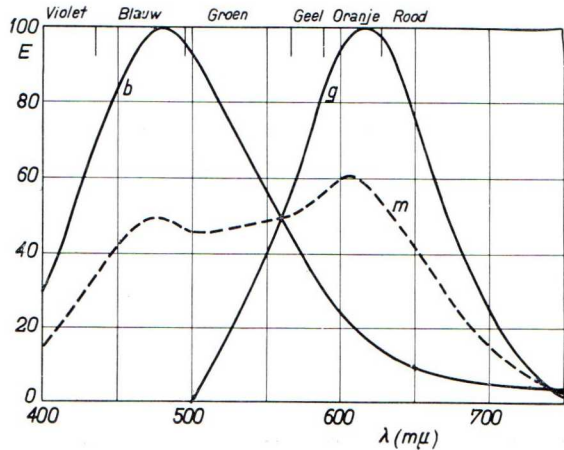
b = spectrale energieverdeling van de blauwe stof

m = spectrale energieverdeling van het mengsel

E = uitgestraalde energie

λ = golflengte van het licht

Bovenaan de figuur is aangegeven, welke kleuren de verschillende golflengten vertonen voor een gemiddelde waarnemer.



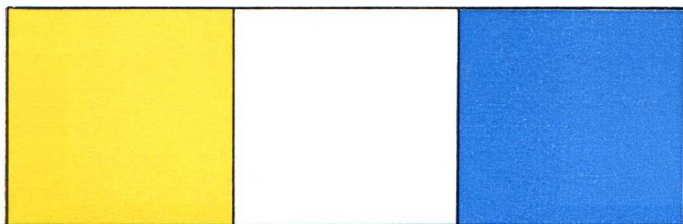


Fig. 13
Bij het mengen van een geel- en van een blauw fluorescerende stof, verkrijgt men een wit fluorescentielicht.

de gele stof en de helft van de door de blauwe stof uitgezonden energie. Uit fig. 12 blijkt, dat door deze menging lampen worden verkregen die in het gehele gebied van het zichtbare licht (golflengten van 400 tot 750 $m\mu$) een vrijwel gelijkmatig spectrum bezitten. Deze lampen vertonen een witte kleur, zoals in fig. 13 is voorgesteld. Had men een mengsel gekozen dat meer van de geel fluorescerende stof bevatte dan het mengsel van fig. 12, dan was de resulterende kleur geelachtig wit geweest; had men meer van de blauwe stof genomen, dan blauwachtig wit. Zo kan men alle „tussenkleuren” tussen geel en blauw verkrijgen door de mengverhouding van de fluorescerende stoffen te variëren. Mengt men drie fluorescerende stoffen, die rood, groen en blauw licht geven, dan ontstaat op dezelfde wijze ook een of andere tussenkleur van deze drie uitersten. Om te overzien wat dit betekent, moeten we eerst enige eigenschappen bespreken van het vermogen van de mens, kleuren te zien.

§ 2. HET ZIEN VAN KLEUREN

Het vermogen kleuren te zien stelt ons in staat van de voorwerpen om ons heen te zeggen of ze rood, oranje, geel, groen, blauw of purper zijn, dan wel of ze wellicht een tussen deze zes hoofdkleuren gelegen kleurtoon bezitten. Verder zijn wij nog in staat te zien of de voorwerpen fel gekleurd zijn of zwak, en of zij er licht of donker uitzien.

Onderzoekingen van Young ¹⁾ brachten reeds in de vorige eeuw Helmholtz tot de hypothese, dat het oog drie soorten van lichtgevoelige elementen bevat, waaraan wij het vermogen kleuren te onderscheiden te danken hebben.

Dank zij drie door Grassmann opgestelde wetten, die door vele experimentele onderzoekingen zijn bevestigd, kan men gebruik maken van de voorstelling, dat de werking van het oog overeenkomt met die van drie fotocellen, elk voorzien van een eigen gevoeligheidsverdeling in het spectrum. Eén van de fotocellen moet hoofdzakelijk gevoelig zijn voor

¹⁾ De stof die in de paragrafen 2, 3 en 4 van dit hoofdstuk wordt besproken, is uitvoeriger behandeld in het boek van Dr. P. J. BOUMA „Kleuren en Kleurindrukken”, uitgegeven in Philips Technische Bibliotheek — Meulenhoff Amsterdam, 1946.

rood licht. De gevoeligheid van deze cel is voorgesteld door kromme \bar{X} in fig. 14. De tweede fotocel \bar{Y} moet het gevoeligst zijn voor groen licht, en de derde \bar{Z} voor blauw licht.

Als gevolg van zorgvuldige metingen van Guild en Wright heeft de C.I.E. ¹⁾ de drie krommen van fig. 14 in 1931 kunnen normaliseren. Tabel I (zie pag. 34) geeft de waarden van de gevoeligheid voor de verschillende golflengten nauwkeuriger aan dan fig. 14.

De drie krommen \bar{X} , \bar{Y} en \bar{Z} zullen ons in staat stellen, een figuur te tekenen waarin de kleuren die het oog kan onderscheiden alle een eigen plaats krijgen; het wordt als het ware een landkaart van het kleurengebied.

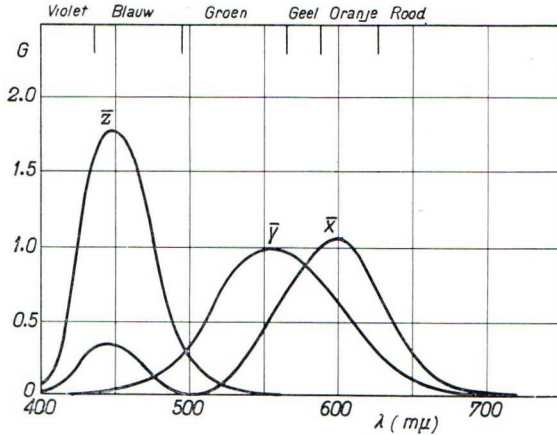


Fig. 14

Gevoeligheidskrommen van de drie fotocellen die de werking van het oog kunnen nabootsen:

- \bar{X} = gevoeligheid van de „rode cel”
- \bar{Y} = gevoeligheid van de „groene” cel
- \bar{Z} = gevoeligheid van de „blauwe” cel
- λ = golflengte van het licht
- G = gevoeligheid

§ 3. HET OPBOUWEN VAN DE KLEURENDRIEHOEK

Bij het opbouwen van de kleurenfiguur bedenken we allereerst, dat het er voor het beoordelen van de kleur van een voorwerp binnen zekere grenzen niet op aan komt hoeveel licht het voorwerp uitzendt: Een stuk rood papier heeft dezelfde kleur, onverschillig of het op $\frac{1}{2}$, 1 of 3 meter van een lichtbron wordt bekeken. De hoeveelheden licht die er op vallen verhouden zich bij die afstanden echter als 36 : 9 : 1.

Voor de fotocellen die de werking van het oog nabootsen, betekent bijvoorbeeld het verkleinen tot de helft van de hoeveelheid licht die op het stuk papier valt, dat van alle drie de cellen de fotostroom wordt gehalveerd. De kleurbeoordeling mag daarbij niet veranderen; dit wil zeggen, dat voor deze beoordeling, de verhoudingen van de fotostromen van de cellen van meer belang zijn dan die stromen zelf.

Experimenteel is nu het verkrijgen van een kleurbeoordeling in maat en getal gemakkelijk genoeg, als maar de drie fotocellen \bar{X} , \bar{Y} en \bar{Z} van fig. 14 beschikbaar zijn. Men laat daartoe de gekleurde lichtbundel die moet worden gemeten, vallen op de drie cellen, en men bepaalt de drie fotostromen X , Y en Z . Dan berekent men de verhoudingen:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}; \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}.$$

Deze verhoudingen zijn zó, dat zij bij verandering van X , Y en Z met dezelfde factor

¹⁾ Commission Internationale de l'Éclairage.

TABEL I

Gevoeligheidskrommen van de „rode” fotocel \bar{X} , de „groene” \bar{Y} en de „blauwe” \bar{Z} ; λ = golflengte in $m\mu$

λ	\bar{X}	\bar{Y}	\bar{Z}	λ	\bar{X}	\bar{Y}	\bar{Z}
380	0,001	0.	0,006	600	1,062	0,631	0,001
390	0,004	0.	0,020	610	1,003	0,503	0.
				620	0,854	0,381	0.
400	0,014	0.	0,068	630	0,642	0,265	0.
410	0,044	0,001	0,207	640	0,448	0,175	0.
420	0,134	0,004	0,646				
430	0,284	0,012	1,386	650	0,284	0,107	0.
440	0,348	0,023	1,747	660	0,165	0,061	0.
				670	0,087	0,032	0.
450	0,336	0,038	1,772	680	0,047	0,017	0.
460	0,291	0,060	1,669	690	0,023	0,008	0.
470	0,195	0,091	1,288				
480	0,096	0,139	0,813	700	0,011	0,004	0.
490	0,032	0,208	0,465	710	0,006	0,002	0.
				720	0,003	0,001	0.
500	0,005	0,323	0,272	730	0,001	0.	0.
510	0,009	0,503	0,158	740	0,001	0.	0.
520	0,063	0,710	0,078				
530	0,166	0,862	0,042	Σ	10,68	10,68	10,68
540	0,290	0,954	0,021				
550	0,433	0,995	0,009				
560	0,594	0,995	0,004				
570	0,762	0,952	0,002				
580	0,916	0,870	0,002				
590	1,026	0,757	0,001				

dezelfde waarden behouden. Zij zijn dus onafhankelijk van de lichthoeveelheid en geschikt om de kleur voor te stellen.

Omdat
$$x + y + z = \frac{X + Y + Z}{X + Y + Z} = 1,$$

kan z worden berekend zodra x en y bekend zijn, en het is voldoende een figuur te tekenen waarin x en y de coördinaten zijn. De punten van de figuur heten *kleurpunten*. De coördinaat x wordt, zoals in fig. 15, uitgezet langs de horizontale as van een gewoon rechthoekig assenkruis, de coördinaat y langs de verticale as.

Omdat fotostromen steeds positief (of nul) zijn, is $X \geq 0$; $Y \geq 0$; $Z \geq 0$. Daarom is ook $x \geq 0$; $y \geq 0$ en $z \geq 0$, zodat, wegens $x + y + z = 1$, ook gelden moet: $x \leq 1$; $y \leq 1$, ja zelfs $x + y \leq 1$. Het gevolg hiervan is, dat de gehele kleurenfiguur besloten is in de driehoek gevormd door de x -as, de y -as en de lijn $x + y = 1$, de *kleurendriehoek*. De eenvoudigste manier om het kleurpunt van een of andere lichtbundel te bepalen is, zoals reeds werd beschreven, het gebruik van drie fotocellen met de juiste gevoeligheidskrommen. Er zijn dan ook een groot aantal instrumenten die volgens dit principe werken in gebruik; zij heten objectieve colorimeters. Echter is het nog niet gelukt op eenvoudige wijze, bijvoorbeeld met behulp van filterglazen, de gevoeligheidskrommen van fotocellen *precies* gelijk te maken aan de krommen van fig. 14. Daarom willen wij nu nagaan hoe men, ook zonder in het bezit te zijn van de drie fotocellen, door berekening kleurpunten kan bepalen.

§ 4. HET BEREKENEN VAN KLEURPUNTEN

Het is gemakkelijk de kleurpunten te vinden van spectrale lichtsoorten of spectraallijnen, dat zijn lichtsoorten, die slechts straling van één golflengte uit het spectrum bevatten. Uit tabel I (pag. 31) leest men bijvoorbeeld voor licht met een golflengte van $480 \text{ m}\mu$ direct af, dat

$$X = 0,096; Y = 0,139; Z = 0,813,$$

zodat $x = 0,091$ en $y = 0,133$.

Voert men deze berekening uit voor de spectrale kleuren van tabel I, dan vindt men de in fig. 15 aangegeven punten, die zijn verbonden door een kromme. Op deze kromme liggen de kleurpunten van alle spectrale kleuren.

Het bepalen van de mengkleur van twee gekleurde lichtbundels gaat op analoge manier in 'n werk als

het bepalen van de mengkleur van twee fluorescerende stoffen, dat in par. I werd besproken: Bij elke golflengte is de in het mengsel uitgestraalde energie de som van de energieën van de oorspronkelijke bundels.

Men kan het ontstaan van een dergelijk mengsel bijvoorbeeld laten zien, door beide lichtbundels eerst na elkaar en dan

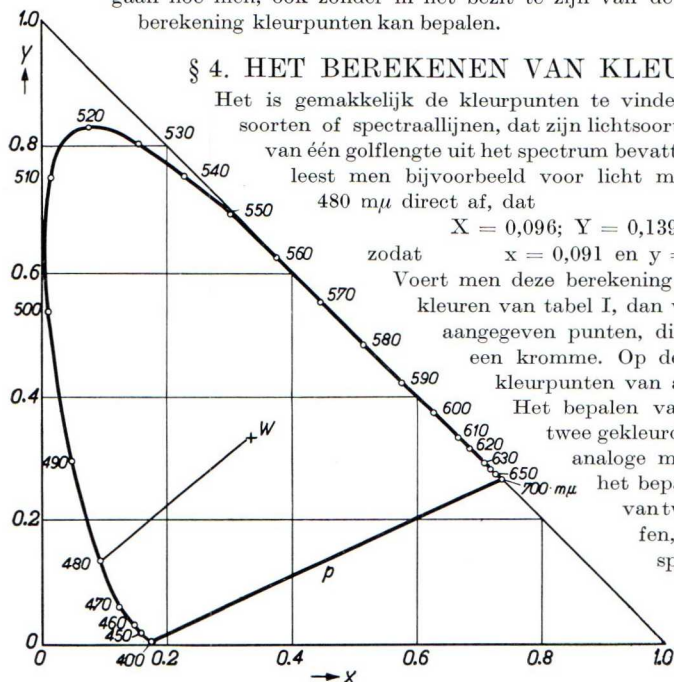


Fig. 15

Kleurendriehoek met coördinaten x en y . Gegeven zijn, behalve de coördinaatassen, de lijn $x + y = 1$, waar alle kleurpunten beneden liggen, de kleurpunten van de spectrale kleuren (de bijgeschreven getallen zijn de golflengten), het witpunt W met coördinaten $x = y = 1/3$, en de purperlijn p . Op de lijn die het kleurpunt van de spectrale kleur voor $\lambda = 480 \text{ m}\mu$ met het witpunt verbindt, vindt men dichter bij W steeds blekere blauwe kleuren.

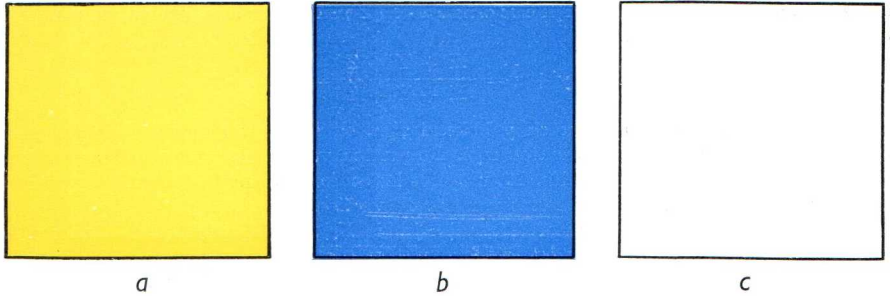


Fig. 16

Het mengen van een gele en van een blauwe lichtbundel voert tot hetzelfde resultaat als het mengen van fluorescerende stoffen. Een wit vlak wordt verlicht met:
 a. een gele lichtbundel — b. een blauwe lichtbundel — c. beide lichtbundels tegelijk.

tegelijk op een wit vlak te laten vallen, zoals in fig. 16 is weergegeven. Er bestaat voor het kleurpunt van het mengsel van twee lichtsoorten een eenvoudige eigenschap, die wij nu zullen afleiden: Stel, dat de eerste lichtsoort met kleurpunt P_1 in fig. 17 de fotostromen X_1, Y_1, Z_1 , de tweede, met kleurpunt P_2 , de fotostromen X_2, Y_2, Z_2 in de fotocellen veroorzaakt, dan krijgt men met het mengsel de fotostromen:

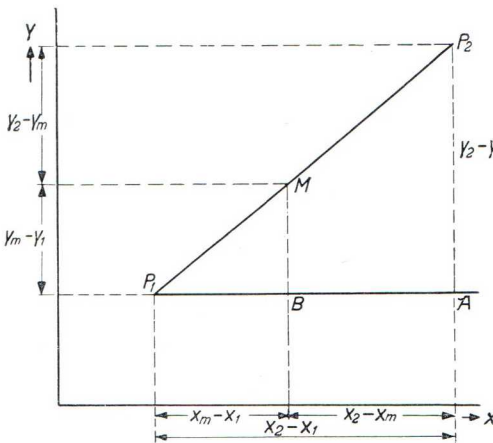
$$X_m = X_1 + X_2; \quad Y_m = Y_1 + Y_2; \quad Z_m = Z_1 + Z_2.$$

Nu is: $x_1 = \frac{X_1}{X_1 + Y_1 + Z_1}$

$$y_1 = \frac{Y_1}{X_1 + Y_1 + Z_1}$$

$$x_2 = \frac{X_2}{X_2 + Y_2 + Z_2}$$

$$y_2 = \frac{Y_2}{X_2 + Y_2 + Z_2}$$



en voor het mengsel:

$$x_m = \frac{X_1 + X_2}{X_1 + X_2 + Y_1 + Y_2 + Z_1 + Z_2}$$

$$y_m = \frac{Y_1 + Y_2}{X_1 + X_2 + Y_1 + Y_2 + Z_1 + Z_2}$$

Men vindt door narekenen gemakkelijk de betrekkingen

$$\frac{x_m - x_1}{y_m - y_1} = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}$$

en

$$(y_m - y_1) : (y_2 - y_m) = \frac{Y_2}{y_2} : \frac{Y_1}{y_1}$$

De eerste betrekking betekent, dat de driehoeken BP_1M en AP_1P_2 in fig. 17

Wegens gelijkvormigheid van de driehoeken BP_1M en AP_1P_2 , gelden, als M op de rechte P_1P_2 ligt, de betrekkingen:

$$\frac{x_m - x_1}{y_m - y_1} = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \quad \text{en} \quad \frac{P_2M}{MP_1} = \frac{y_2 - y_m}{y_m - y_1}$$

gelijkvormig zijn, zodat M ligt op P_1P_2 . De tweede betrekking betekent dan, dat M de afstand P_1P_2 verdeelt in de verhouding $\frac{Y_2}{y_2} : \frac{Y_1}{y_1}$. De getallen Y_1 en Y_2 zijn als fotostromen evenredig met de lighthoeveelheden in de beide oorspronkelijke bundels, zodat we gevonden hebben: Naarmate het mengsel van twee kleuren, voorgesteld door de kleurpunten P_1 en P_2 , meer van het bij P_1 behorende licht bevat, ligt het kleurpunt dichter bij P_1 op de rechte P_1P_2 .

De gevonden eigenschap kan direct worden toegepast om de kleurpunten te vinden van mengsels van allerlei spectrale lichtsoorten, in het bijzonder die van mengsels van het fel rode en het violette licht dat we aan beide einden van het spectrum vinden. De kleuren van deze mengsels, waarin de verhouding van de componenten nog kan variëren, liggen tussen violet en rood, en zijn dus purper. De kleurpunten liggen op de schuine lijn p in fig. 15, die de kleurpunten van beide uiteinden van het spectrum verbindt.

Waren de kleurpunten van monochromatische lichtsoorten nog gemakkelijk te bepalen, al is men niet werkelijk in het bezit van de drie fotocellen die het oog nabootsen, moeilijker lijkt dit voor lichtsoorten als gloeilampenlicht, daglicht of het licht van buisvormige fluorescentielampen. Deze lichtsoorten vertonen namelijk een veel ingewikkelder karakter: alle golflengten komen er sterker of minder sterk in voor. Door metingen vindt men een kromme als die van fig. 18: de spectrale energieverdelingskromme, die aangeeft hoeveel energie bij elke golflengte, bijvoorbeeld in gloeilampenlicht, gevonden wordt.

Hoe bepaalt men nu het kleurpunt voor het licht dat van een dergelijke lichtbron komt, als men de drie fotocellen niet bezit, maar wél de spectrale energieverdeling kent? Om dat te doen, gaat men ervan uit, dat men de in tabel I opgegeven waarde als gemiddelde gevoeligheid in een smal golflengtegebiedje van bijvoorbeeld 10 $m\mu$ breedte kan beschouwen, hoewel de gevoeligheid van de cellen in zo'n gebiedje verandert.

Dit gebiedje strekt zich dan bijvoorbeeld voor het punt bij 530 $m\mu$ uit van 525 $m\mu$ tot 535 $m\mu$. Evenzo is de gemiddelde stralingsenergie van de lichtbron, in een gebiedje ter breedte van 10 $m\mu$ om het punt bij $\lambda = 530 m\mu$ heen, te vinden door de energie E_{530} bij die golflengte af te lezen uit de energieverdelingskromme van fig. 18. De in dit gebiedje uitgezonden energie is dan het product van de gemiddelde energie en de breedte van het gebiedje: $E_{530} \times 10$.

De bijdrage ervan tot de fotostroom in de „groene” fotocel is weer het product van gemiddelde gevoeligheid en stralingsenergie, dus $\bar{Y} \times E_2 \times 10$. Zo kan men de bijdragen tot de fotostroom van alle 37 golflengtegebiedjes ter breedte van 10 $m\mu$, die liggen tussen 375 $m\mu$ en 745 $m\mu$, bepalen en optellen. Dan is de totale Y-fotostroom gevonden. Symbolisch stelt men het optellen voor door het teken Σ (sigma), en de Y-

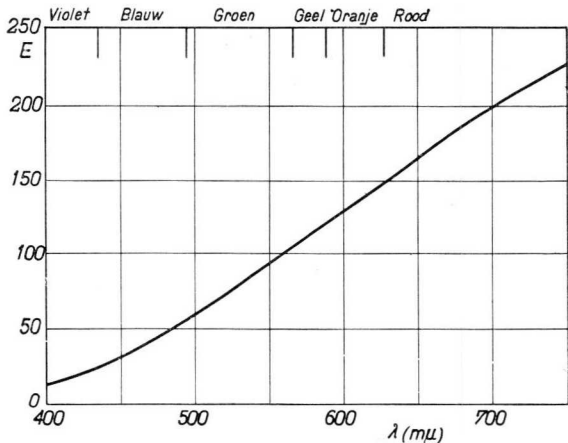


Fig. 18

Spectrale energieverdeling van gloeilampenlicht:

E = uitgestraalde energie

λ = golflengte

fotostroom kan dus worden geschreven als:

$$\begin{aligned} Y &= \Sigma \bar{Y} E \times 10. \\ \text{Evenzo: } X &= \Sigma \bar{X} E \times 10 \quad Z = \Sigma \bar{Z} E \times 10. \end{aligned}$$

En, nu X , Y en Z bekend zijn, kan het kleurpunt gemakkelijk op de in par. 3 beschreven wijze worden bepaald.

Bijzonder eenvoudig is de berekening als E_λ voor alle golflengten, en dus ook in alle termen van de gevonden sommen, even groot is. Dan vindt men:

$$\begin{aligned} X &= \Sigma \bar{X}_\lambda \cdot E \cdot 10 = 10E \Sigma \bar{X}_\lambda & \text{dus: } x &= \frac{\Sigma \bar{X}_\lambda}{\Sigma \bar{X}_\lambda + \Sigma \bar{Y}_\lambda + \Sigma \bar{Z}_\lambda} \\ Y &= \Sigma \bar{Y}_\lambda \cdot E \cdot 10 = 10E \Sigma \bar{Y}_\lambda \\ Z &= \Sigma \bar{Z}_\lambda \cdot E \cdot 10 = 10E \Sigma \bar{Z}_\lambda & y &= \frac{\Sigma \bar{Y}_\lambda}{\Sigma \bar{X}_\lambda + \Sigma \bar{Y}_\lambda + \Sigma \bar{Z}_\lambda} \end{aligned}$$

De C.I.E. heeft de fotocelgevoeligheden nu onderling zó genormaliseerd, dat $\Sigma \bar{X} = \Sigma \bar{Y} = \Sigma \bar{Z}$, hetgeen bij optelling der kolommen van tabel I direct blijkt.

Daaruit volgt: $x = y = 1/3$. In woorden luidt deze nieuwe eigenschap: Het zwaartepunt van de kleurendriehoek is het kleurpunt van het spectrum waarbij de energie als functie van de golflengte constant is. Dit spectrum van constante energie lijkt veel op dat van daglicht. Het licht maakt op ons dan ook de indruk helder wit te zijn. Men noemt het zwaartepunt van de kleurendriehoek het *witpunt*.

Boven vonden wij reeds, dat de kleurpunten van de spectrale, dus zeer sterk gekleurde lichtsoorten gelegen zijn op de in fig. 15 getekende kromme. De mengregel geeft nu nadere inlichtingen over de andere punten van de kleurendriehoek: Verbindt men een willekeurig punt van de kromme der spectrale kleuren of de purperlijn, bijvoorbeeld zoals in fig. 15 het punt voor $\lambda = 480 \text{ m}\mu$, met het witpunt, dan blijkt dat elk punt van de kleurendriehoek kan worden verkregen door het mengen van een spectrale of purperkleur met wit licht. Naarmate men relatief meer wit in het mengsel verwerkt, wordt de spectrale kleur als het ware meer verdund — minder verzadigd, zegt men wel — en minder fel. Het kleurpunt van het mengsel verschuift daarbij, zoals aan het begin van deze paragraaf is uiteengezet, naar het witpunt toe.

Wij hebben de landkaart van de kleuren, zo goed als dat met drukinkten gaat, weergegeven in fig. 19. Het spreekt vanzelf, dat de spectrale kleuren veel feller zijn dan de sterkst gekleurde drukinkten, maar de figuur geeft wel een indruk van de ligging der kleuren in de kleurendriehoek.

§ 5. TOEPASSING VAN DE KLEURENLEER OP BUISVORMIGE FLUORESCENTIELAMPEN

In het nu volgende willen wij de verkregen inzichten over de kleur van lichtbundels en lichtbronnen gebruiken om na te gaan welke kleuren mogelijk zijn voor het licht van buisvormige fluorescentielampen. Het licht van deze lampen bestaat voor het overgrote deel — 88 tot 95% — uit het continue fluorescentielicht van de stof of het mengsel waarmee de wand bedekt is, en voor de rest uit het zichtbare licht van de kwikontlading. Het kwiklicht is niet continu, maar bevat enige spectraallijnen, waarvan de voornaamste zijn gelegen bij de golflengten $\lambda = 405 \text{ m}\mu$, $\lambda = 408 \text{ m}\mu$, $\lambda = 436 \text{ m}\mu$, $\lambda = 546 \text{ m}\mu$ en $\lambda = 578 \text{ m}\mu$. Voor het berekenen van het kleurpunt is dit geen bezwaar. Men telt eenvoudig de bijdragen die de spectraallijnen van het kwiklicht tot de

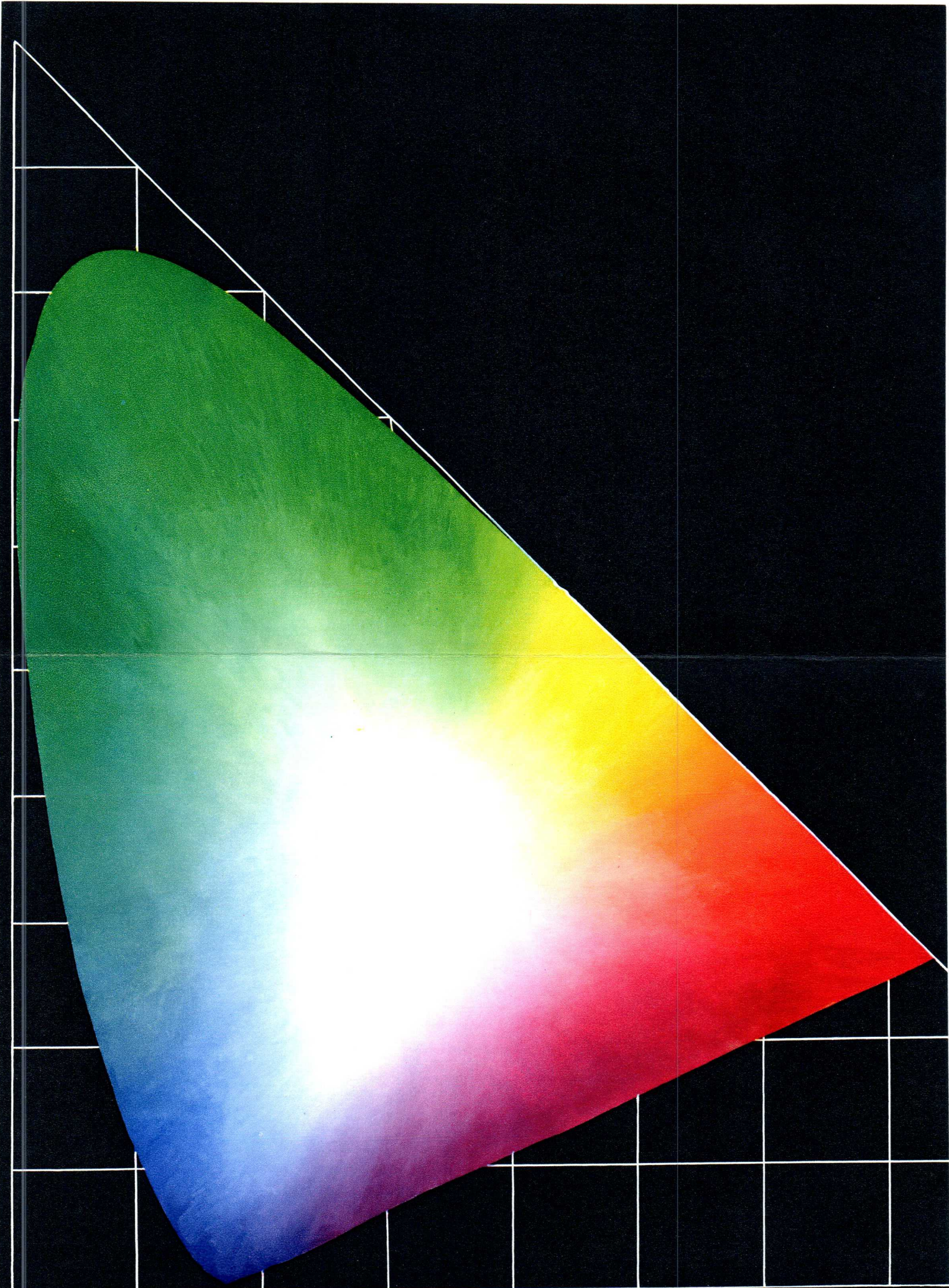


Fig. 19

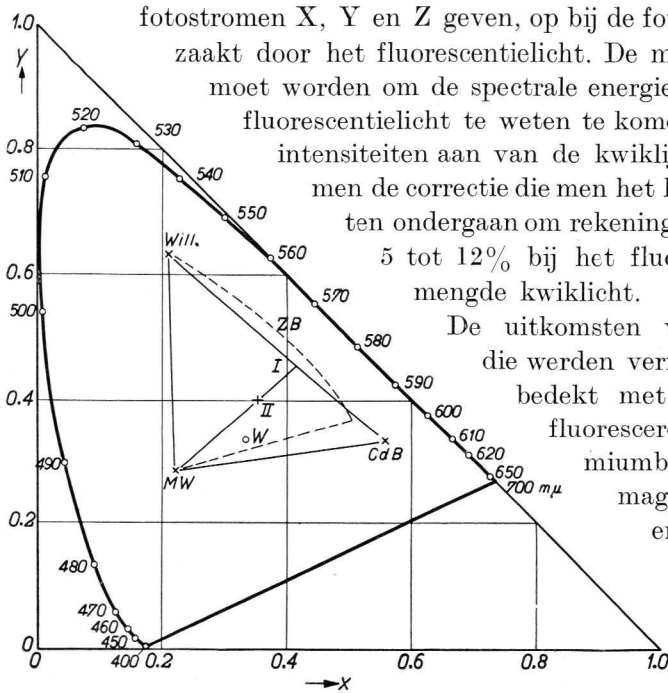


Fig. 20

Kleurpunten van lampen waarvan de wand bedekt is met de fluorescerende stoffen:

- cadmiumboraat: punt Cd B,
- willemiet: punt Will,
- magnesiumwolframaat: punt MW.

Voor zinkberylliumsilicaten liggen de kleurpunten op de gestreepte kromme ZB. De plaats op de kromme is afhankelijk van de samenstelling van de stof.

- I = kleurpunt van een lamp, bedekt met een mengsel van cadmiumboraat en willemiet.
- II = kleurpunt van een lamp, bedekt met een mengsel van cadmiumboraat, willemiet en magnesiumwolframaat.
- W = het witpunt.

gezet in fig. 20. Door vergelijking met fig. 19 blijkt, dat de kleuren van het door deze lampen uitgestraalde licht zijn: cadmiumboraat rood; willemiet groen; magnesiumwolframaat blauw en zinkberylliumsilicaten groengeel tot rood, afhankelijk van de samenstelling van deze stoffen. Verder zijn er o.a. nog de halofosfaten, die een wit licht uitstralen. In § 1 is reeds uiteengezet, dat het mengen van twee fluorescerende stoffen voor de spectrale energieverdeling op hetzelfde neerkomt als het mengen van twee lichtsoorten. Als het kleurpunt van het fluorescentielicht is gevonden, moet nog rekening worden gehouden met de correctie

fotostromen X, Y en Z geven, op bij de fotostromen, veroorzaakt door het fluorescentielicht. De meting die verricht moet worden om de spectrale energieverdeling van het fluorescentielicht te weten te komen, geeft tevens de intensiteiten aan van de kwiklijnen. Aldus vindt men de correctie die men het kleurpunt moet laten ondergaan om rekening te houden met de 5 tot 12% bij het fluorescentielicht gemengde kwiklicht.

De uitkomsten van de metingen die werden verricht aan lampen, bedekt met de afzonderlijke fluorescerende stoffen cadmiumboraat, willemiet, magnesiumwolframaat

en enige meer ingewikkelde stoffen, zijn reeds gegeven in hoofdstuk II (Luminescerende stoffen). De kleurpunten ervan, die door de correctie voor het erbij gemengde kwiklicht iets meer naar links liggen dan die voor het zuivere fluorescentielicht, zijn uit-

voor het erbij gemengde kwiklicht. Het is in de practijk gebleken, dat bij benadering het juiste kleurpunt wordt verkregen door de gewone mengwetten die in de vorige paragraaf werden gevonden, toe te passen op de gecorrigeerde kleurpunten van de lampen die met de afzonderlijke stoffen zijn bedekt.

Uit de mengwetten volgt dat, bijvoorbeeld door mengen van willemiet met cadmiumboraat, verkregen worden alle kleuren waarvan de kleurpunten zijn gelegen op de verbindingslijn van de punten Will en CdB in fig. 20. Kiest men een bepaald mengsel, dan heeft dit bijvoorbeeld de door het punt I voorgestelde kleur.

Mengt men het mengsel I nu verder met magnesiumwolframaat, dan ligt het kleurpunt van het uit de drie stoffen bestaande mengsel op de lijn I-MW, en komt bijvoorbeeld terecht in II. Omdat men, dank zij de vrije keuze van de mengverhouding van deze stoffen, voor I een willekeurig punt van de lijn Will-CdB kan kiezen, kan de lijn I-MW de gehele driehoek MW-Will-CdB bestrijken. Op de lijn I-MW kan ook het punt II overal terecht komen. Wegens de vrije keuze van de beide mengverhoudingen kan men dus het kleurpunt van het mengsel der drie stoffen met elk punt van de driehoek doen samenvallen. Bijna dezelfde mogelijkheden vindt men voor mengsels van ZB en MW. De kleurpunten van de halofosfaten liggen in de nabijheid van het witpunt.

Een blik op fig. 19 leert derhalve dat, ten gevolge van de mengwetten voor de kleur van het licht van buisvormige fluorescentielampen, de volgende mogelijkheden bestaan. Er kunnen lampen worden gemaakt met uitgesproken rode, gele, groene of blauwe lichtkleur, maar ook met witte, zacht rode, gele, groene, blauwe of roze tint. Welke van al deze kleuren zal men nu kiezen?

Natuurlijk kan men voor decoratieve doeleinden zowel felle als zachte kleuren gebruiken. Wij willen ons hier echter beperken tot de kleuren die geschikt zijn voor lampen voor algemene verlichting.

§ 6. KLEUR VAN HET LICHT VAN BUISVORMIGE FLUORESCENTIELAMPEN VOOR ALGEMENE VERLICHTING

Bij lampen voor algemene verlichting moet men er terdege rekening mee houden, dat zij behoorlijk zullen moeten passen bij de andere lichtbronnen die in hetzelfde vertrek aanwezig kunnen zijn. De lichtsoorten die voor verlichting binnenshuis, dus in woonkamers, kantoren, fabrieken en werkplaatsen, algemeen worden gebruikt, zijn: gloeilampenlicht, zowel van vacuum- als van met gas gevulde lampen, en daglicht. Wij laten hier natriumlampen en kwiklampen buiten beschouwing, omdat het gebruik daarvan, vooral binnenshuis, niet algemeen kan worden genoemd.

Gloeilampen en de zon, ja zelfs kaarsvlammen, hebben gemeen, dat het licht ervan wordt geproduceerd door gloeiende vaste deeltjes of lichamen. Bij de kaarsvlam zijn dit bijvoorbeeld kleine kooldeeltjes in de vlam. Volgens bekende fysische wetten, die door Kirchoff, Wien en Planck gevonden werden, is de spectrale energieverdeling van een gloeiend vast lichaam, dat zich op een bepaalde temperatuur bevindt, onafhankelijk van de aard van het lichaam, mits het de eigenschap bezit niets direct terug te kaatsen van de straling die er van buiten af op valt. In dit speciale geval kan men de spectrale energieverdeling van het uitgezonden licht theoretisch berekenen, en ook het kleurpunt ervan vindt men dan gemakkelijk volgens het in § 4 gegeven recept. Een lichaam dat geen straling terugkaatst noemt men een zwart lichaam. Deze naam is in zoverre weinig toepasselijk, dat een „zwart” lichaam bij hoge temperatuur, bijvoorbeeld die van de zon, er allerminst zwart uitziet, maar een verblindend wit licht uitstraalt! De temperatuur van een gloeiend zwart lichaam wordt gewoonlijk gegeven in celsiusgraden volgens de kelvinschaal, die begint bij het absolute nulpunt, zodat het smeltpunt van ijs wordt aangegeven met 273°K en het kookpunt van water met 373°K . In fig. 21 zijn enige kleurpunten van gloeiende zwarte lichamen gegeven, en wel voor de temperaturen: 1000° , 1500° , 2000° , 2500° , 3000° , 3500° , 4000° en 5000° , 6500° en $10\,000^{\circ}\text{K}$. De kromme die door deze punten is getrokken geeft ook voor andere temperaturen de kleurpunten aan.

Nu blijkt door meting van de spectrale energieverdeling, dat gloeiende vaste lichamen, als bijvoorbeeld metaaldraden, de zon, een kaarsvlam, niet precies „zwart” zijn, maar vaak toch wel de kleur vertonen van een gloeiend zwart lichaam, waarvan de temperatuur dan in het algemeen niet dezelfde is als die van het gloeiende vaste lichaam. De temperatuur van het zwarte lichaam kan bij gelijkheid der kleuren zowel hoger als lager zijn dan die van het vaste lichaam. Men noemt de temperatuur van het „zwarte” lichaam, waarbij dit *dezelfde kleur* heeft als een bepaald gloeiend *vast* lichaam, de *kleurtemperatuur* van dat vaste lichaam. De kleurtemperatuur van een kaarsvlam is aldus 1900°K , die van de gloeidraad van een vacuumlamp ca. 2400°K , die van een dubbel gespiraliseerde gloeidraad in een met gas gevulde gloeilamp ca. 2850°K , en die van de zon ca. 6500°K .

Zoals wij de zon waarnemen, vormt deze voor ons op aarde een lichtbron met een geler licht dan overeenkomt met 6500°K , dus met een lagere kleurtemperatuur. De reden hiervan is, dat de blauwe lichtstralen in de atmosfeer sterker verstrooid worden dan de rode en de gele. De kleurtemperatuur van het directe zonlicht bedraagt daarom slechts

5000 °K. Het licht van de blauwe hemel, het verstrooide zonlicht, daarentegen, is zeer rijk aan blauwe stralen. Het heeft een kleurtemperatuur van ca. 10 000 °K. Bij bewolkte hemel worden de directe zonnestralen weer met het hemellicht gemengd en vinden we de oorspronkelijke kleurtemperatuur van de zon, d.i. 6500 °K, terug.

Rekening houdend met de omstandigheid dat, zoals wij reeds hebben gevonden, de algemeen gebruikte lichtbronnen voor verlichting binnenshuis gloeiende vaste lichamen zijn, waarvan de kleurpunten liggen op de in fig. 21 getekende lijn der gloeiende zwarte lichamen, zullen wij nu een voorwaarde afleiden waaraan de kleuren van buisvormige fluorescentielampen moeten voldoen.

Zij mogen door contrastwerking, noch zelf een onaangename kleur krijgen, noch maken dat een andere lichtbron, die eventueel in hetzelfde vertrek wordt gebruikt, er onaangenaam gaat uitzien.

Een ervaringsfeit, waarmee bij het toepassen van deze „aanpassingsregel” rekening moet worden gehouden, is, dat men lichtbronnen die groenachtig of paarsachtig aandoen, onaangenamer vindt dan lichtbronnen die wat geelachtig of blauwachtig lijken. Uit de kleurendriehoek van fig. 19 blijkt, dat een contrast geel-blauw optreedt tussen twee lichtbronnen waarvan de beide kleurpunten op de lijn der gloeiende zwarte lichamen liggen. Licht het kleurpunt van een der lichtbronnen op enige afstand buiten deze lijn, dan kan het onaangename rood-groen contrast gemakkelijk optreden. De voorwaarde waaraan de kleurpunten van de lampen moeten voldoen, is dus eenvoudig te formuleren door te zeggen, dat zij op of zeer nabij de lijn der gloeiende zwarte

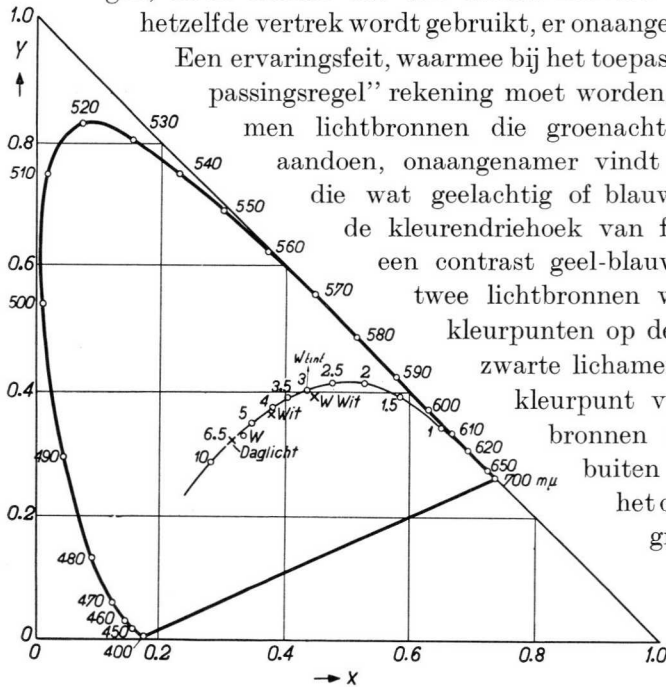


Fig. 21

Kromme van de kleurpunten van gloeiende zwarte lichamen, waarop zijn aangegeven de punten voor de temperaturen: 1 = 1000 °K; 1,5 = 1500 °K; 2 = 2000 °K; 2,5 = 2500 °K; 3 = 3000 °K; 3,5 = 3500 °K; 4 = 4000 °K; 5 = 5000 °K; 6,5 = 6500 °K; 10 = 10 000 °K; W = witpunt.
 Daglicht = kleurpunt Philips „daglicht” lamp type 55a
 Wit = kleurpunt Philips „wit” lamp type 33a
 W.Wit = kleurpunt Philips „warmwit” lamp type 22e
 W.Tint = kleurpunt Philips „warmtint” lamp type 29

lichamen moeten liggen. Men kan daarom aan deze lichtbronnen — geheel analoog met de gegeven definitie — een kleurtemperatuur toekennen, ofschoon de lampen zelf slechts weinig warmer zijn dan de omgeving. De kleuren die men, met inachtneming van de gevonden regel, werkelijk kiest, zullen ten nauwste samenhangen met het doel waarvoor de lampen zullen worden gebruikt.

Is het doel van de te ontwerpen lampen het aanvullen of vervangen van daglicht op plaatsen die schaars worden verlicht, of tijdens de uren dat het buiten donker is, dan zal men een kleur kiezen die zich nauw bij die van natuurlijk daglicht aansluit. De kleurtemperatuur die wordt gekozen zal hoog zijn, bijvoorbeeld circa 10 000 °K, als men het licht de eigenschappen wil geven van het licht van de noordelijke hemel. Deze eigenschappen kunnen bijvoorbeeld gewenst zijn voor het gebruik in schildersateliers of voor het vergelijken van bijna witte of heel lichtgele kleuren in de textielindustrie. Veel lager, bijv. 5000 °K tot 4500 °K, zal de kleurtemperatuur gekozen worden als men zich wil aanpassen bij het directe zonlicht. Vaak wordt echter een middenweg gekozen; men neemt de kleurtemperatuur 6500 °K van het daglicht bij bedekte hemel.

Is het de bedoeling de lichtbron te gebruiken tezamen met gloeilampen, dan zal het kleurpunt niet te sterk van dat van een gloeiend zwart lichaam bij 2850 °K mogen afwijken. De laagste kleurtemperatuur, die volgens fig. 20 met de besproken mengsels en ook met ingewikkelder stoffen verkregen kan worden, is ca. 2500 °K. De lamp geeft dan echter in het blauwe gebied alleen kwiklicht en in het geheel geen blauw fluorescentielicht, wat een slechte kleurweergave ten gevolge heeft (vergelijk § 9). Daarom kiest men vaak een wat meer blauwe kleur, waarvan het kleurpunt ligt tussen 2850 °K en 3500 °K.

Ten slotte kan het gebeuren, dat een lamp gebruikt moet worden om daglicht aan te vullen, maar dat dezelfde lamp op andere tijden tegelijk met gloeilampen wordt gebruikt. In dat geval zal men een kleurpunt kiezen dat „midden tussen” de kleurpunten van daglicht en gloeilampenlicht in is gelegen. Men komt dan uit bij ca. 4000 °K en, wegens de kromming van de lijn der zwarte lichamen, iets beneden die lijn.

In fig. 21 zijn gegeven de kleurpunten van vier door de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken in de handel gebrachte typen buisvormige fluorescentielampen.

- I. „Daglicht” type 55a; kleurpunt op de lijn der gloeiende zwarte lichamen bij de kleurtemperatuur 6500 °K: $x = 0,313$; $y = 0,323$.
- II. „Wit” type 33a; kleurpunt iets onder de lijn der gloeiende zwarte lichamen nabij de kleurtemperatuur 4000 °K: $x = 0,377$; $y = 0,365$.

III. „Warmwit” type 22e; kleurpunt iets onder de lijn der gloeiende zwarte lichamen nabij de kleurtemperatuur 3000 °K: $x = 0,447$; $y = 0,392$.

IV. „Warmtint” type 29; kleurpunt op de lijn der gloeiende zwarte lichamen bij de kleurtemperatuur 3000 °K: $x = 0,441$; $y = 0,400$.

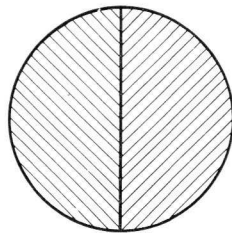


Fig. 22

Gezichtsveld van een colorimeter. Van de twee te vergelijken kleuren wordt de ene gebruikt om de linker helft, de andere om de rechter helft te verlichten tot gelijke helderheid.

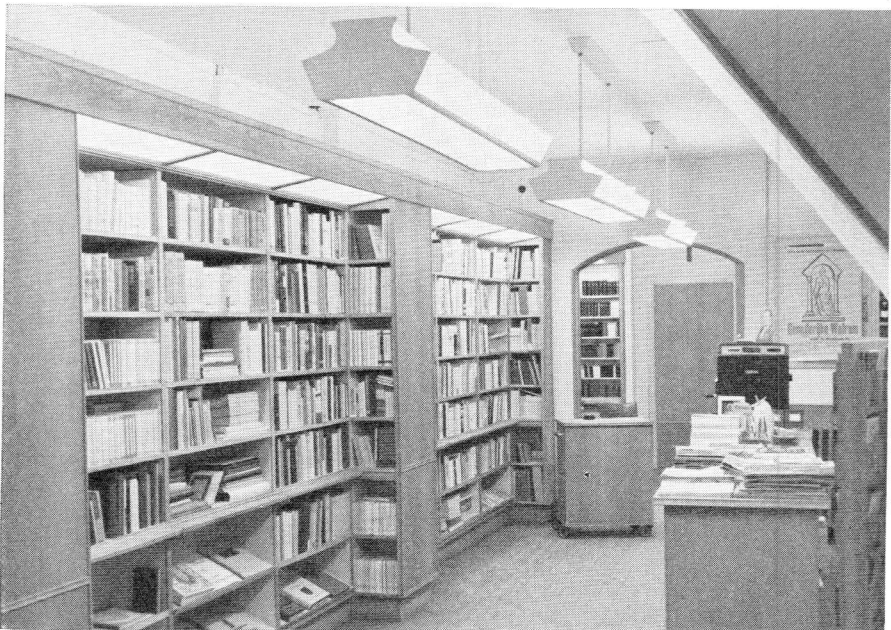
§ 7. KLEURTOLERANTIE

Heeft men een groot aantal buisvormige fluorescencielampen die op korte afstanden van elkaar zijn aangebracht, dan kunnen kleurverschillen tussen deze lampen onderling hinderlijk zijn. In het bijzonder neemt men deze kleurverschillen gemakkelijk waar bij lampen die in lange rijen tegen elkaar zijn gemonteerd. Het is nu belangrijk na te gaan welke kleurverschillen in deze gevallen hinderlijk zijn, en welke niet. In het laboratorium kan men proeven zó inrichten, dat het oog zeer gevoelig is voor kleurverschillen. Daartoe toont men de waarnemer de beide kleuren in gelijke helderheid naast elkaar, bijvoorbeeld op de beide helften van het cirkelvormige gezichtsveld van een colorimeter (schematisch getekend in fig. 22). Er worden dan, vooral als het gezichtsveld groot is, veel kleinere kleurverschillen opgemerkt dan bij de ruwe proef met een rij fluorescerende buislampen. Men heeft een groot aantal van dergelijke waarnemingen gedaan, waarbij op een der helften van het colorimeterveld licht met een bepaald kleurpunt werd geworpen. Werpt men op de andere helft licht dat hetzelfde kleurpunt heeft, dan zijn de helften niet onderscheidbaar; de scheidingslijn verdwijnt. Verandert men nu iets aan een van de lichtsoorten, dan verplaatst zich het kleurpunt daarvan en, zodra de verandering groot genoeg is, ziet men een kleurverschil tussen beide helften. Zodoende vindt men, welke afstand twee punten hebben die kleuren voorstellen waartussen juist verschil merkbaar is. Deze afstand, die afhangt van de richting van de verbindingslijn der kleurpunten en van de plaats in de kleurendriehoek, noemt men: juist onderscheidbaar kleurverschil. Gebleken is bijvoorbeeld dat, in de buurt van het kleurpunt 6500 °K, een verschil in kleurtemperatuur van ca. 40° overeenkomt met een juist onderscheidbaar kleurverschil.

Bij kleiner gezichtsveld, en ook onder de practische omstandigheden waarmee men bij het vergelijken van fluorescencielampen te maken heeft, is het tien- à twintigvoud van het juist onderscheidbaar kleurverschil



Algemene indirecte verlichting in schoenwinkel door middel van buislampen TL-40 W in koven.



Boekwinkel. Behalve de armaturen voor algemene verlichting, plaatselijke verlichting bij de boekenkasten. Buislampen TL-40 W.

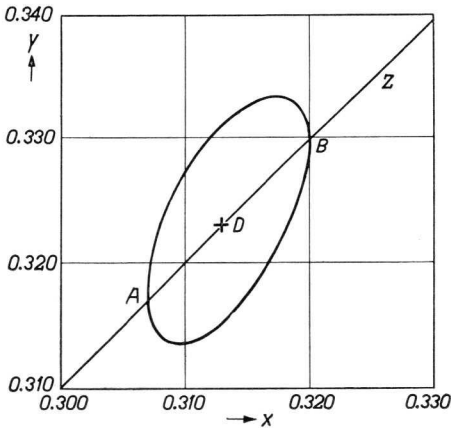


Fig. 23

Tolerantie-ellips voor daglichtlampen:

z = lijn van de gloeiende zwarte lichamen

D = kleurpunt daglichtlamp, kleurtemperatuur 6500 °K

A = kleurtemperatuur 6100 °K

B = kleurtemperatuur 6900 °K

van de ellips, en wordt door deze gesneden in de punten voor 6100 °K en 6900 °K kleurtemperatuur.

Bevinden zich de kleurpunten van twee lampen binnen de ellips, dan is de onderlinge afstand kleiner dan een stap, en het kleurverschil is niet hinderlijk.

Op de beschreven wijze kan men ook ellipsen construeren om de kleurpunten van de lampen met kleuren „wit”, „warmwit” en „warmtint”. Het is van belang te zorgen dat de kleurpunten van alle lampen van één type binnen de „tolerantie-ellips” liggen.

§ 8. KLEURWEERGAVE VAN DAGLICHTLAMPEN

Het onderwerp van de vorige paragrafen was de kleur van het door de fluorescentielampen uitgestraalde licht. De functie van een lamp is echter meer het verlichten van de voorwerpen om ons heen, dan het zelf gezien worden. De kleur van de voorwerpen om ons heen nu is sterk afhankelijk van de eigenschappen, in het bijzonder van de spectrale energieverdeling van het licht waarmee ze worden verlicht. Om dit toe te lichten, gaan we eerst na waaraan de kleur van de voorwerpen is te danken.

Een voorwerp dat alle lichtstralen die er op vallen weer uitstraalt — remitteert, zegt men — geeft de indruk wit te zijn. Er wordt door zulk een voorwerp geen straling uit het spectrum weggenomen, en per definitie zegt

eerst merkbaar. Wij noemen daarom de afstand die overeenkomt met het twintigvoud van het juist onderscheidbaar kleurverschil, een stap in de kleurendriehoek. Is een kleurverschil kleiner dan een stap, dan is het onder praktische omstandigheden niet merkbaar. Pas als het veel groter is dan een stap kan het hinderlijk worden. Zet men in allerlei richtingen, bijv. om het punt D in de kleurendriehoek, afstanden uit, telkens overeenkomend met een halve stap, dan vindt men een figuur die veel op een ellips lijkt. Deze ellips is ver groot getekend in fig. 23. De lijn van de gloeiende zwarte lichamen is bij benadering een middellijn

men, dat de remissiefactor voor alle golflengten dezelfde waarde, nl. 100% heeft. In fig. 24, die deze factor als functie van de golflengte aangeeft, wordt dit gedrag voorgesteld door de lijn $\varrho = 1,0$. Een dergelijk gedrag vertoont een laag magnesiumoxyde, die er dan ook helder wit uitziet. Bij gekleurde voorwerpen is de remissiefactor niet onafhankelijk van de golflengte; enige voorbeelden zijn gegeven in fig. 24. Een voorwerp dat rood, oranje en geel licht remitteert, doch groen, blauw en violet wegneemt, ziet er rood uit. Worden zowel rood en oranje als geel

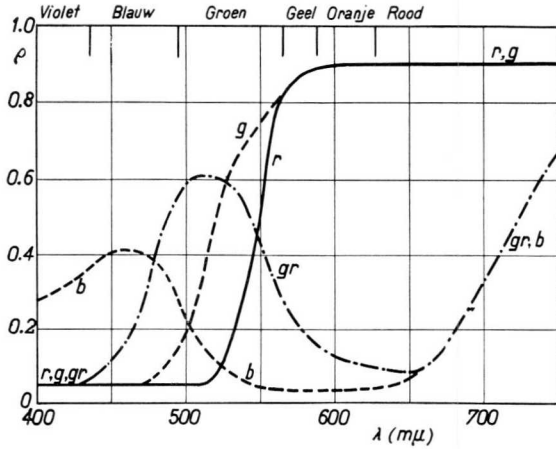


Fig. 24

Remissie-golflengtekrommen van gekleurde voorwerpen. De krommen berusten op metingen aan drukinkten, doch zijn, ter wille van de overzichtelijkheid van de figuur, enigszins geschematiseerd.

$\varrho = 1,0$ wit (wordt benaderd door magnesiumoxyde)

r rood gekleurd voorwerp

g geel „ „

gr groen „ „

b blauw „ „

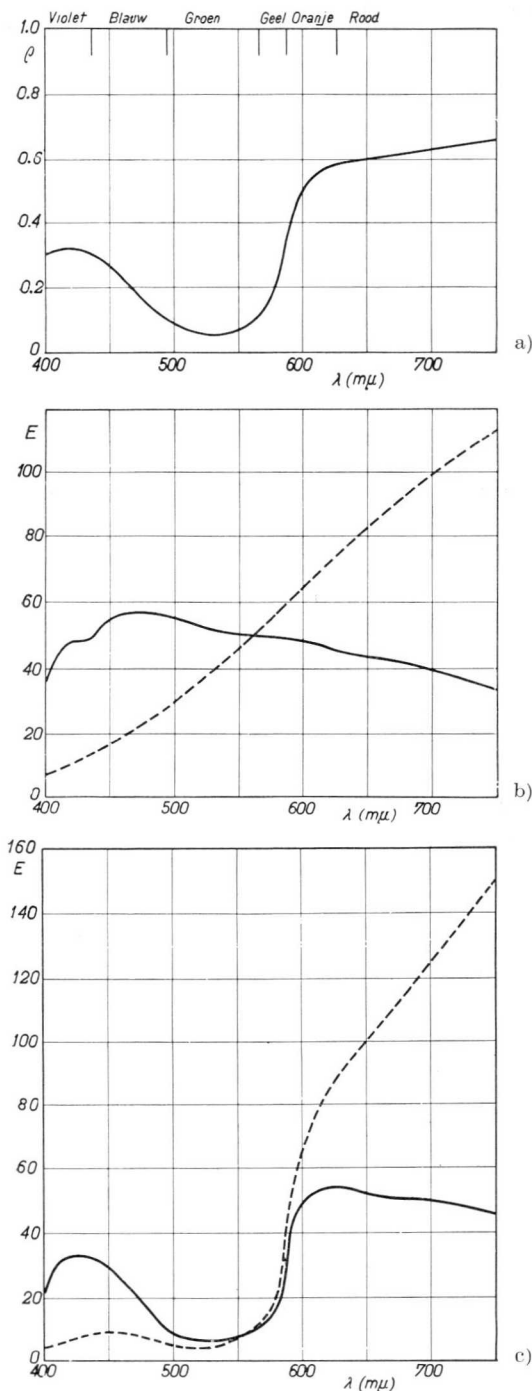
λ = golflengte ϱ = remissiefactor

en groen uitgestraald, dan is de kleur geel. Een groen voorwerp neemt rode, blauwe en violette stralen weg en straalt hoofdzakelijk groen licht uit, terwijl een blauw voorwerp gekarakteriseerd is doordat het geel en rood wegneemt. De toeneming van de remissie in het zeer diepe rood, die bij de laatstgenoemde twee kleuren boven $\lambda = 700 \text{ m}\mu$ wordt gevonden, heeft geen merkbare invloed op de kleur, omdat, volgens tabel I, alle drie de fotocellen voor deze straling zeer ongevoelig zijn.

Paars is geen enkelvoudige kleur. De spectrale remissiekromme, waarvan in fig. 25a een voorbeeld is gegeven, heeft twee maxima, een in het rode en een in het blauwe gebied.

Het spreekt vanzelf, dat het licht dat ons oog treft ná terugkaatsing door een of ander voorwerp — bijv. een paars — geheel verschillende samenstellingen zal hebben als het voorwerp achtereenvolgens door twee verschillende lichtbronnen wordt verlicht.

Als voorbeeld denken wij ons de verlichting met de sterk uiteenlopende lichtsoorten: daglicht en gloeilampenlicht. Bij andere, minder uiteenlopende lichtsoorten, zullen dan gelijksoortige, maar minder sterk sprekende verschijnselen optreden.



Wordt het paarse voorwerp van fig. 25a eerst verlicht met daglicht waarvan de spectrale energieverdeling gegeven is in de getrokken kromme van fig. 25b, dan vindt men voor elke golflengte het geremitteerde licht door de lighthoeveelheid die op het voorwerp valt, af te lezen in fig. 25b en te vermenigvuldigen met de remissiefactor uit fig. 25a. Het resultaat is de getrokken kromme van fig. 25c. Doet men hetzelfde voor gloeilampenlicht waarvan de spectrale energieverdeling ook is gegeven in fig. 25b, dan is het resultaat de gestreepte kromme van fig. 25c, die geheel anders van vorm is dan de getrokken kromme. Deze verschillen in spectrale verdeling hebben ten gevolge, dat de kleurpunten van het paarse voorwerp bij de twee lichtsoorten zeer verschillend zijn. Door

Fig. 25

- a. Remissie-golflengtekromme van een paarsgekleurd voorwerp.
- b. Spectrale energieverdelingen van daglicht: getrokken kromme; gloeilampenlicht: gestreepte kromme.
- c. Spectrale energieverdelingen van het door het voorwerp van fig. 16a geremitteerde licht. Bij verlichting met daglicht: getrokken kromme. Bij verlichting met een gloeilamp: gestreepte kromme.

berekening vindt men,

bij verlichting met daglicht:

$$x = 0,427,$$

$$y = 0,259;$$

bij verlichting met een gloeilamp: $x = 0,570,$

$$y = 0,331.$$

Menzou een maat voor dit kleurverschil kunnen invoeren door na te

gaan hoeveel juist onderscheidbare stapjes het groot is. Hier heeft dat echter geen zin; de kleuren lijken niet eens op elkaar!

Het enorme verschil tussen de spectrale energieverdeling van daglicht en die van gloeilampenlicht maakt, dat men deze twee lichtsoorten zeker niet tegelijkertijd zal gebruiken. Het onaangename verschijnsel van „vals licht”, dat is te wijten aan de kleurverschillen die optreden als men dit toch probeert, is trouwens bekend genoeg.

Wil men twee lichtbronnen tegelijk gebruiken en toch generlei opvallende kleurverschillen te voorschijn roepen, dan mogen hun spectrale verdelingen geen grote verschillen vertonen. Door Dr. Bouma is gevonden ¹⁾, dat een handige manier om te beoordelen of twee lichtbronnen praktisch „dezelfde” spectrale energieverdeling hebben, is, het spectrum te verdelen in de acht vakjes die in de tweede kolom van tabel II (zie pag. 53) zijn aangegeven. Uit de spectrale energieverdeling van de lichtbronnen berekent men vervolgens met behulp van de gevoeligheidskromme $V_\lambda = \bar{Y}_\lambda$ ²⁾ (zie tabel I) van het oog, welk percentage van het licht, bij de in elk van deze vakjes gelegen golflengten door elke lichtbron wordt uitgestraald.

De splitsing van het licht in de bijdragen van acht vakjes betekent, dat de som $Y = \sum \bar{Y}_\lambda E_\lambda \times 10$ (zie § 4) moet worden verdeeld in acht stukken, die ieder de bijdrage van één vakje aangeven.

De uitkomsten voor natuurlijk daglicht en voor daglicht-fluorescentielampen, zijn gegeven in tabel II. Ze zijn afgeleid uit de spectrale energieverdelingen die zijn getekend in de figuren 25b en 26. De spectraallijnen

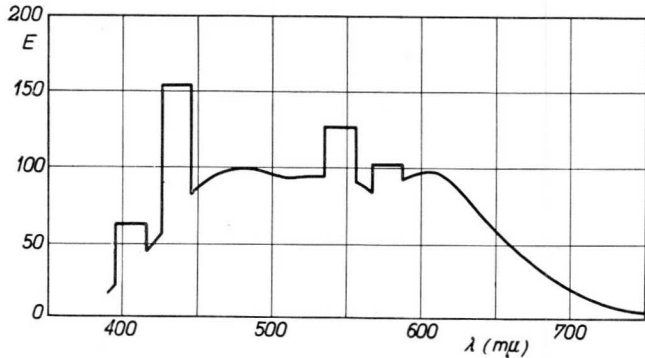


Fig. 26

Spectrale energieverdelingskromme van „daglicht” fluorescentielampen (type 55a).

¹⁾ Philips Technisch Tijdschrift 2.1.1937.

²⁾ De gevoeligheidskromme van het oog was door de C.I.E. reeds in 1924 vastgelegd. Later, in 1931, werden de drie krommen \bar{X} , \bar{Y} en \bar{Z} zo genormaliseerd, dat $\bar{Y} = V$.

van het kwiklicht bij de golflengten $405 \text{ m}\mu$, $436 \text{ m}\mu$, $546 \text{ m}\mu$ en $578 \text{ m}\mu$ zijn in figuur 26 weergegeven als banden met een breedte van $20 \text{ m}\mu$, die de in de lijnen uitgestraalde energie voorstellen. In werkelijkheid is deze energie geconcentreerd in zeer smalle golflengtegebiedjes.

Tussen natuurlijk daglicht en het licht van daglichtfluorescentielampen vindt men blijkens tabel II verschillen, die hoofdzakelijk bestaan uit een teveel in het tweede (blauwviolette) vakje en een tekort in het achtste (dieprode) vakje. Het teveel in het tweede vakje wordt ten dele gecompenseerd door de minder belangrijke tekorten in het eerste en het derde vakje. Deze verschillen hebben ten gevolge, dat een pigment dat op twee vlak bij elkaar gelegen plaatsen, resp. door elk der beide lichtbronnen, wordt verlicht, twee verschillende kleuren vertoont. Voor een aantal ¹⁾ veel voorkomende pigmenten werden deze verschillen berekend. De grootste verschillen werden gevonden bij de purperrode en rode kleuren. Zij zijn te wijten aan het tekort in het rode vakje. De grootte van deze verschillen was twee stappen in de kleurendriehoek (zie § 7). De compensatie in het blauw maakt, dat bij blauwe pigmenten het verschil slechts ca. één stap bedraagt.

Eén stap is een kleurverschil dat bij rustig waarnemen merkbaar is. Het is nu de vraag, van welke grootte kleurverschillen moeten zijn, opdat men ze onder praktische omstandigheden merkbaar of zelfs hinderlijk zal noemen. Bij het vaststellen van de tolerantie in lampkleur, is de grens gelegd bij één stap. Hier willen wij de grens wat minder nauw leggen, en wel bij twee stappen, omdat ons doel slechts is, al te duidelijk merkbare kleurverschillen uit te sluiten.

De conclusie is dan, dat de kleurweergave van buisvormige fluorescentielampen van daglichtkleur goed kan worden genoemd.

§ 9. KLEURWEERGAVE VAN „WARMER” GETINTE LICHTBRONNEN

Waar het niet speciaal gaat om nabootsing of om aanvulling van het natuurlijke daglicht, vindt men in het algemeen de kleur van daglichtlampen voor verlichting binnenshuis, bijvoorbeeld van kantoorruimten, en in het bijzonder van woonkamers, „koud”.

De reden hiervan is in hoofdzaak, dat men van kunstlicht een zoveel lager verlichtingsniveau gebruikt dan van natuurlijk daglicht. Een gelere lichtsoort — behorend bij een lagere kleurtemperatuur — is prettiger, gezelliger en doet „warmer” aan. Wij zullen dus ook de kleurweergave van deze „warmer” getinte lichtsoorten aan een nader onderzoek moeten onderwerpen. Als voorbeeld nemen we de gloeilamp.

¹⁾ Gebruikt werden 14 verzadigde pigmentkleuren, één onverzadigde kleur die op de huidskleur gelijk, en wit.

In de vorige paragraaf is al gebleken, dat de kleurpunten van één bepaald gekleurd voorwerp bij verlichting met daglicht, en later met gloeilampenlicht, vaak op grote afstand van elkaar komen te liggen. De kleuren die men waarneemt bij beide lichtbronnen zouden derhalve wel zeer verschillend moeten zijn. Er zijn echter verschijnselen die er op wijzen, dat de kleurpunten niet het allerlaatste woord spreken als het gaat om het waarnemen van kleuren. Weliswaar neemt men onder bepaalde omstandigheden, namelijk als daglicht en gloeilampenlicht in vrijwel gelijke sterkte in één vertrek vallen, inderdaad de berekende grote kleurverschillen waar, getuige het verschijnsel van „vals licht”, maar men kan de zaak ook geheel anders beschouwen, en dan komt men ook tot heel andere uitkomsten.

Wij zijn gewend aan de kleuren die de voorwerpen om ons heen in daglicht vertonen, en zo noemen wij ze: de natuurlijke kleuren. Nu zouden, volgens het bovenstaande, deze kleuren des avonds in de huiskamer bij gloeilampenlicht geheel anders moeten zijn. *En dit is niet het geval!* Wij herkennen des avonds wel degelijk de kleuren waaraan wij overdag gewend waren. Een rood gordijn is 's avonds ook rood, een groene plant groen, een blauwe das blauw. Ja, een wit tafellaken is 's avonds ook wit! Onder de omstandigheden waarmee wij 's avonds te maken hebben, treedt dus een geheel nieuw verschijnsel op, dat maakt dat wij als het ware „blind” zijn voor dezelfde kleurverschillen die we bij „vals licht” zo duidelijk waarnemen. Welke zijn de omstandigheden die ons 's avonds zo van pas komen? Bij nader onderzoek blijkt, dat het belangrijkste is, dat wij dan verkeren in een omgeving die *geheel* met één lichtsoort, bijv. gloeilampenlicht, is verlicht.

Het nieuwe verschijnsel speelt zich hoofdzakelijk af in ons oog; het heet *chromatische aanpassing*. Ons oog past zich geheel aan bij de kleur van het licht in onze omgeving. Uit het feit dat een wit tafellaken des avonds er ook wit uitziet, volgt dat deze aanpassing zo ver gaat, dat het grote kleurverschil tussen daglicht en gloeilampenlicht er zelfs geheel door kan worden gecompenseerd.

Er zijn over de chromatische aanpassing experimenten gedaan, en het is gebleken dat de invloed ervan behoorlijk nauwkeurig kan worden voorspeld. Het resultaat van de berekeningen is inderdaad dat, bij gebruik van uitsluitend gloeilampenlicht, de voorwerpen hun natuurlijke kleuren in hoofdzaak behouden. Meer in het algemeen kan zelfs worden gezegd, dat dit het geval is indien als lichtbron een gloeiend zwart lichaam van niet te lage temperatuur wordt gebruikt. Het is trouwens een algemeen bekende ervaring, dat onze omgeving er heel natuurlijk uitziet bij verlichting met vacuumlampen, gloeilampen met dubbel ge-

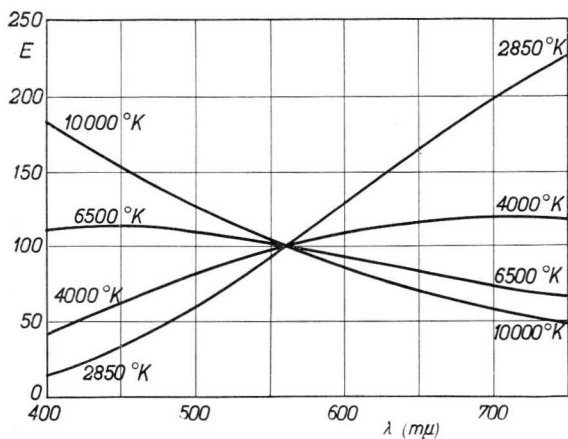


Fig. 27

Spectrale energieverdelingskrommen voor het zwarte lichaam bij de temperaturen 2850 °K, 4000 °K, 6500 °K en 10 000 °K.

delingen zijn in fig. 27 voor enige temperaturen getekend. Duidelijk is, dat geen scherpe maxima of minima in het zichtbare gebied voorkomen.

Het is nu de vraag, of ook bij de „warmer” getinte fluorescentielampen, de spectrale energieverdeling zo regelmatig is, dat een natuurlijke kleurweergave wordt verkregen. Het spreekt echter vanzelf dat deze lampen daartoe niet rechtstreeks met daglicht moeten worden vergeleken. Dan zouden, evenals bij directe vergelijking van gloeilampenlicht en daglicht, grote verschillen te voorschijn komen. Zij worden echter door de chromatische aanpassing grotendeels overbrugd, zodra in een vertrek maar één soort lampen wordt gebruikt. Wil men dus de kleurweergave van de „warmer” getinte lampen strenger beoordelen, dan moeten zij worden vergeleken met lichtbronnen waarvan met zekerheid bekend is, dat hun kleurweergave natuurlijk is. Daarvoor komen, zoals boven bleek, gloeiende zwarte lichamen van dezelfde kleurtemperatuur als de te beoordelen lichtbron in aanmerking. In tabel II zijn daartoe de uit de figuren 28, 29 en 30 afgeleide lichtstroomverdelingen over de acht vakjes gegeven van de witte, warmwitte en warmtint fluorescentielampen, alsook die van het gloeiende zwarte lichaam bij temperaturen van resp. 4000 °K en 2850 °K. Wordt uit de verschillen tussen de „witte” lamp en het zwarte lichaam bij 4000 °K weer nagegaan welke de maximale kleurafwijking bij een aantal verschillend gekleurde voorwerpen is, dan blijkt deze twee stappen te bedragen en te wijten te zijn aan het overschot van blauwviolet licht in het tweede vakje, dat het gevolg is van de sterke kwiklijn bij $\lambda = 436 \text{ m}\mu$. De afwijking is even groot als bij de daglichtlamp, zodat ook

spiraliseerde gloeidraad (kleurtemp. ca. 2850 °K), koolbooglampen (kleurtemp. ca. 3500 °K), licht van de bedekte hemel (kleurtemp. ca. 6500 °K) en van de wolkenloze noorderhemel (kleurtemp. ca. 10 000 °K).

De reden waarom deze lichtbronnen een „natuurlijke” kleurweergave hebben is wel, dat zij een zo regelmatig met de golflengte verlopende spectrale energieverdeling bezitten. Deze ver-

TABEL II

Lichtstroomverdeling over 8 spectrale vakjes van buisvormige fluorescentielampen, van natuurlijk daglicht en van gloeiende zwarte lichamen, bij temperaturen van 4000 °K en 2850 °K

Vak	Golflengte in $m\mu$	Lampkleur				Natuurlijke lichtbron		
		Dag- licht	Wit	Warm- wit	Warm- tint	Dag- licht	T = 4000°	T = 2850°
1	380—420	0,015	0,010	0,005	0,007	0,027	0,014	0,006
2	420—440	0,44	0,35	0,35	0,26	0,23	0,129	0,060
3	440—460	0,60	0,30	0,10	0,12	0,80	0,47	0,25
4	460—510	9,0	4,80	1,8	1,9	10,8	7,89	5,47
5	510—560	45,0	38,0	33,2	35,2	40,8	38,0	33,4
6	560—610	36,0	43,0	49,0	47,9	36,2	39,5	42,6
7	610—660	8,40	13,0	15,0	14,1	10,3	12,9	16,7
8	660—760	0,30	0,43	0,55	0,51	0,73	1,05	1,57

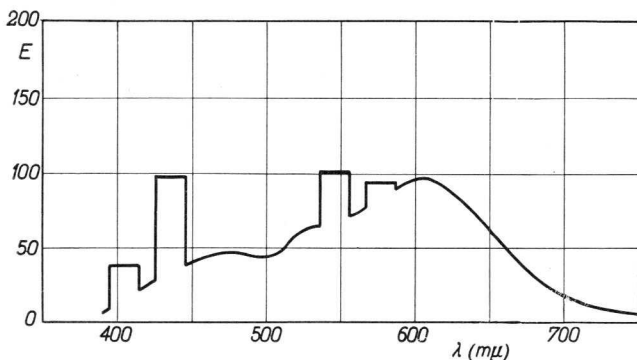


Fig. 28

Spectrale energieverdelingskromme van „witte” fluorescentielampen (type 33a).

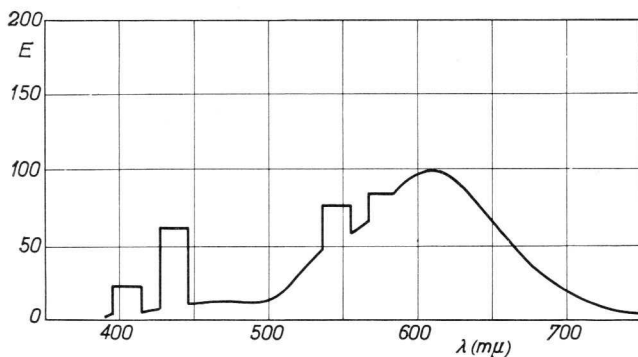


Fig. 29

Spectrale energieverdelingskromme van „warmwitte” fluorescentielampen (type 22e).

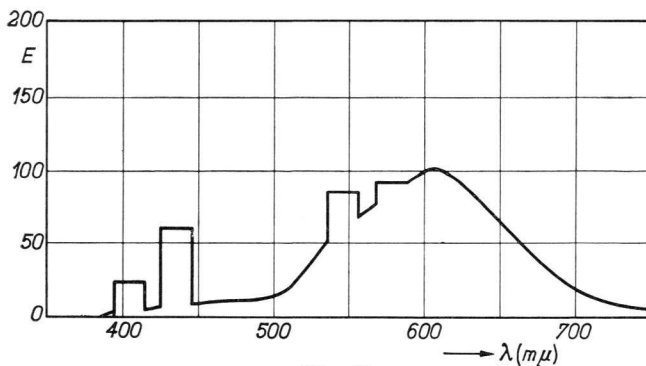


Fig. 30

Spectrale energieverdelingskromme van „warmtint” fluorescentielampen (type 29).

de „witte” fluorescentielamp een goede kleurweergave verzekert.

Past men dezelfde beschouwing toe op het vergelijken van de warmwitte fluorescentielamp met de gloeilamp, dan vindt men afwijkingen van dezelfde soort als bij de „witte” lamp, ten gevolge van een te grote lichtstroom in het tweede vakje en een te geringe in het vierde vakje. De afwijkingen zijn in dit geval groter dan die wij bij het vorige type hebben gevonden, en wel bedragen zij drie stappen. Aan blauwe voorwerpen constateert men dan ook gemakkelijker dat zij een afwijkende, enigszins violette tint krijgen.

Ten slotte blijkt, dat de „warmtint” lamp, die eveneens met de gloeilamp moet worden vergeleken, ook verschillen van ca. drie

stappen oplevert. Deze treden nu echter zowel bij rode voorwerpen op, als bij blauwe. De verschillen bij de blauwe voorwerpen zijn weer een gevolg van de sterke kwiklijn bij $\lambda = 436 \text{ m}\mu$; die bij de rode voorwerpen zijn te wijten aan het relatief tekort aan rood licht in de vakjes 7 en 8.

Voor alle besproken typen van fluorescentiebuislampen geldt de uitspraak dat, bij gebruik van één lichtsoort voor de verlichting van een vertrek, de afwijkingen van de natuurlijke kleurweergave kleiner zijn dan drie stappen in de kleurendriehoek. Hoewel deze afwijkingen duidelijk merkbaar zijn, worden zij gewoonlijk niet hinderlijk gevonden.

Het gebruiken van één lichtsoort wil hierbij zeggen, dat lampen van daglichtkleur zeer goed gecombineerd kunnen worden met natuurlijk daglicht; lampen van de kleur wit met zonlicht of daglicht bij laagstaande zon, en lampen van de kleuren warmwit of warmtint met gloeilampenlicht.



Lunchkamer.

6 × 3 buislampen TL-S 40 W achter lichtroosters,
6 × 3 ballast-gloeilampen eveneens in het plafond.

GASONTLADINGEN

§ 1. ELECTRONENEMISSIE

Bij een gasontlading bewegen geladen deeltjes in een gas tussen twee electroden. Deze deeltjes zijn electronen en positieve ionen. Negatieve ionen komen in sommige ontladingen wel voor, doch we zullen ze buiten beschouwing laten. We behandelen eerst het geval dat in fig. 31 is getekend, waarbij de lamp op gelijkspanning is aangesloten. Bij brandende lamp staat tussen de electroden een spanningsverschil V_b ($= V_2 - iR$). Gemiddeld bewegen de electronen zich van de negatieve electrode (de kathode) naar de positieve electrode (de anode); de positieve ionen gaan, echter met veel kleinere gemiddelde snelheid dan de electronen, van de anode naar de kathode. Ten gevolge van de grotere snelheid van de electronen, wordt het stroomtransport practisch alleen door deze verzorgd. Daar, zoals reeds werd opgemerkt, de electronen zich *gemiddeld* naar de anode toe bewegen, moet er uit de kathode een voortdurende nalevering van electronen plaats hebben. We zeggen dat de kathode electronen moet emitteren. Deze electronenemissie is een belangrijk onderdeel van de gasontlading, zelfs zo, dat de wijze van electronenemissie bepaalt of we met een glimontlading dan wel met een boogontlading hebben te maken. Wij verstaan hier onder glimontlading een ontlading met koude kathode, en onder boogontlading een ontlading met warme kathode. Hierop moet iets nader worden ingegaan.

In de metalen kathode bevinden zich vrije electronen, die echter niet zonder meer naar buiten kunnen treden. Hiertoe is per electron een zekere energie nodig. We kunnen deze energie uitdrukken in electronvolts, waarbij 1 electronvolt de energie is, die een electron krijgt bij het vrij doorlopen van een potentiaalverschil van 1 volt. Is voor een bepaald metaal deze energie $e\varphi$ elec-

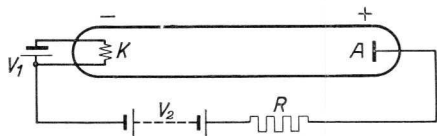


Fig. 31

Gasontladingsbuis in serie met gelijkspanning V_2 en weerstand R . De spanning V_1 dient om de kathode K te verhitten.

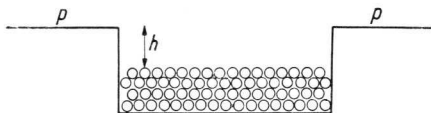


Fig. 32

Evenals er voor de knikkers in de bak energie nodig is om uit de bak te komen, zo heeft een electron energie nodig om uit een metaal te treden.

kunnen nu ook niet zonder meer op het plateau komen. Hiertoe is voor de bovenste knikkers de energie mgh nodig (m = massa van de knikkers, g = versnelling van de zwaartekracht). De bak van fig. 32 komt dus overeen met het metaal waarin zich de electronen bevinden, en het plateau komt overeen met de ruimte buiten het metaal waarin de electronen niet zonder meer kunnen komen. De hoogte h en de grootte φ zijn geheel analoge grootheden. Een verschil is, dat de electronen in het metaal bewegen, de knikkers daarentegen stil liggen.

We zullen nu twee wijzen bespreken waarop electronen uit het metaal kunnen treden.

a. Boogontlading

Bij verhitting van het metaal wordt de gemiddelde snelheid van de electronen groter. Niet alle electronen hebben op een bepaald moment dezelfde snelheid, doch er bestaat een zekere snelheidsverdeling, waarbij zowel langzame als snelle electronen voorkomen. De electronen met voldoende snelheid *kunnen* uit het metaaloppervlak treden. Is er dan in de aangrenzende ruimte een elektrisch veld, dat zodanig is gericht dat er op die electronen een kracht wordt uitgeoefend in de richting van het metaal af, dan zullen ze zich verder van het metaal verwijderen. Naarmate de temperatuur van het metaal hoger is, hebben meer electronen een voldoende snelheid om uit het metaal te ontsnappen en zal de emissie van electronen dus groter kunnen zijn. In fig. 31 hebben we daarom de spanningsbron V_1 getekend, waarmee de kathode K op een hogere temperatuur wordt gebracht. In fig. 32 is het natuurlijk voordelig de hoogte h klein te maken, daar dan ook knikkers die een kleinere snelheid hebben op het plateau kunnen komen. In het geval van de electronenemissie verdient het dus de voorkeur een stof te kiezen met een kleine uittreepotentiaal. Dit bereikt men in de practijk door het metaal te bedekken met een dun laagje aardalkalioxyde bijv. BaO of SrO .

b. Glimontlading

Stel dat we in de bak met knikkers van fig. 32 een projectiel schieten,

dan kan het zijn dat hierdoor een of meer van de knikkers uit de bak vliegen. Dit zal natuurlijk afhangen van de aard van het projectiel, van zijn richting en snelheid, en van de hoogte h . Bij de glimontlading is het projectiel een positief ion, dat in de ruimte vlak voor de kathode, door het daar aanwezige elektrische veld wordt versneld en vervolgens op de kathode valt. Lang niet ieder positief ion dat op de kathode terechtkomt maakt een electron vrij. De kans dat het dit wél doet hangt af van zijn snelheid en van de uittreepotentiaal. In de praktijk blijkt de kans circa $1/100$ te zijn, d.w.z. dat van 100 opvallende positieve ionen, gemiddeld slechts één een electron vrij maakt. Bij deze wijze van electronen-emissie behoeft de kathode dus helemaal niet warm te zijn. Deze zal wel iets warm worden door de hagelbui van positieve ionen, maar essentieel is dit voor het proces niet. We spreken daarom in dit geval van koude-kathodebuizen. De electronenstroom per cm^2 is hierbij veel kleiner dan bij de thermische kathode. Voor dezelfde stroomsterkte moet de kathode dan ook veel groter zijn. Ze bestaat meestal uit een cilindervormig gebogen blik. Om ook hier van een lage uittreepotentiaal te profiteren, waardoor de kans om een electron vrij te maken groter wordt, worden deze electroden in sommige gevallen ook met aardalkalioxyde bedekt. Essentieel is bij de glimontlading het vrij grote potentiaalverval vlak voor de kathode, omdat de positieve ionen met grote snelheid op de kathode moeten vallen. Deze kathodeval stelt zich automatisch in en hangt af van de aard van het kathode-oppervlak (hierdoor is φ bepaald) en van het gas (hierdoor is het soort projectiel bepaald). De kathodeval is hierbij van de orde van grootte van 100 volt, terwijl hij bij de ontlading met thermische kathode slechts van de orde van 10 volt is.

§ 2. ELASTISCHE EN ONELASTISCHE BOTSINGEN

We zullen nu een electron dat uit de kathode is getreden (hetzij op de in § 1 onder a, hetzij op de onder b beschreven wijze) op zijn weg door het gas volgen. Tussen de electroden (fig. 31) bevindt zich een elektrisch veld, dat het electron versnelt in de richting kathode - anode. Was de buis volkomen luchtledig, dan zou het electron onder invloed van dit veld een paraboolbaan beschrijven (een rechte baan, als het electron juist in de veldrichting uit de kathode zou zijn getreden), op de anode neerploffen en hoogstwaarschijnlijk hierin verdwijnen. De energie die het tussen kathode en anode vergaard had, plus de intree-energie aan de anode (daar het electron nu van het vacuum in het metaal komt, komen er φ' electronvolt vrij) zouden in de anode in warmte worden omgezet. Dit is echter niet het doel waarvoor we de lamp maakten. We brengen daarom tussen de electroden een gas, zodat het electron niet

meer ongestoord z'n paraboolbaan kan doorlopen. Hoe groter de dichtheid van het gas, hoe veelvuldiger het electron tegen een gasatoom zal botsen en uit z'n oorspronkelijke richting zal worden afgebogen. Daar het electron veel lichter is dan het gasatoom (bijv. $370\,000 \times$ lichter dan het Hg-atoom), zal het gasatoom bij een botsing practisch onberoerd blijven. Het electron echter zal bij iedere botsing van richting veranderen en een weg afleggen, *gemiddeld* in de richting kathode - anode, doch die veel langer is dan de afstand kathode - anode. De omwegfactor is van de orde 400. Het aantal botsingen dat een electron maakt is zeer groot; een electron met een snelheid, beantwoordend aan 1 eV in een gas van 1 mm druk, maakt bijv. circa 10^9 botsingen per sec. Ook al is bij een elastische botsing tussen electron en atoom de energieoverdracht klein, toch is, door dit grote aantal botsingen, de totale energieoverdracht per sec meestal belangrijk. Dientengevolge wordt het gas warmer; immers, door de vele botsingen met de electronen wordt de gemiddelde snelheid van de atomen geleidelijk groter. We hebben dus elektrische energie omgezet in warmte; deze energie nu is voor de lichtopwekking verloren. Daar deze verliezen hier in het gas optreden, spreken we van volumeverliezen, en daar het aantal botsingen evenredig is met het aantal atomen per cm^3 , zijn deze verliezen in eerste instantie evenredig met de druk.

Behalve deze zogenaamde elastische botsingen tussen electron en atoom, waarbij het atoom practisch onberoerd blijft, kan er, als het electron snel genoeg is, ook een ingrijpende verandering in het atoom plaats hebben. Zoals reeds op blz. 6 werd opgemerkt, bestaat het atoom uit een kern, waaromheen vele electronen bewegen (zie ook IV, § 4). Nu kan het zijn, dat het botsende electron een atomelectron (het buitenste) op een verder van het atoom gelegen baan brengt. In dit geval spreken we van „aanslag” van het atoom. In het algemeen zal het electron na korte tijd (orde van 10^{-8} sec) weer van zelf naar z'n oorspronkelijke baan terugkeren. De hierbij vrijkomende energie wordt uitgestraald.

Het kan ook voorkomen dat, ten gevolge van de botsing, een atomelectron geheel van het atoom wordt losgerukt. Wij noemen dit het ioniseren van het atoom. Het atoom heeft nu één electron te weinig en is dus positief geladen; het door de ionisatie vrijgekomen electron wordt op zijn beurt door het elektrische veld versneld. Voor het voortbestaan van de ontlading is dit ionisatieproces noodzakelijk; immers, zonder ionisatie zouden alleen electronen die uit de kathode komen, zich in de buis bevinden, en positieve ionen zouden geheel ontbreken, met het gevolg dat grote negatieve ruimteladingen en grote elektrische veldsterkten zouden optreden. Bovendien gaan electronen, als ze op de buiswand terecht komen,

verloren, zodat ze steeds door ionisatie in het gas moeten worden aangevuld. De ioniserende botsingen zijn dus om verscheiden redenen onmisbaar voor het functioneren van de ontlading.

§ 3. HET POTENTIALVERLOOP IN DE BUIS

In het algemeen loopt de potentiaal niet regelmatig op van kathode naar anode. Alleen in het langgerekte deel van de ontlading waar de elektroden geen invloed hebben (de zogenaamde zuil) is de veldsterkte constant en is de potentiaal dus een lineaire functie van de afstand tot de electrode. De ruimteladingen zijn hier praktisch nul. Is de ruimtelading niet nul (hetgeen meestal vlak bij de elektroden het geval is), dan is de veldsterkte niet constant. Vlak voor de kathode treedt dikwijls een positieve ruimtelading op, met het gevolg dat hier ook grote veldsterkten voorkomen. Bij de glimontlading is het hierdoor optredende potentiaalverschil van de orde van 100 volt. De grotere veldsterkte als gevolg van de positieve ruimtelading vlak voor de kathode wordt geïllustreerd door fig. 33. Zonder ruimtelading lopen de elektrische krachtlijnen ongestoord van de kathode naar de anode (33a). De elektrische veldsterkte is nu overal gelijk (33b) en de potentiaal loopt gelijkmatig op van de kathode naar de anode (33c). Bij aanwezigheid van positieve ruimtelading zullen echter enige van de kathode uitgaande krachtlijnen op de positieve ruimtelading eindigen (33d). De krachtlijnen dichtheid, en derhalve ook de veldsterkte, zijn dus het grootst vlak voor de kathode (fig. 33e). Het potentiaalverloop is weergegeven in fig. 33f.

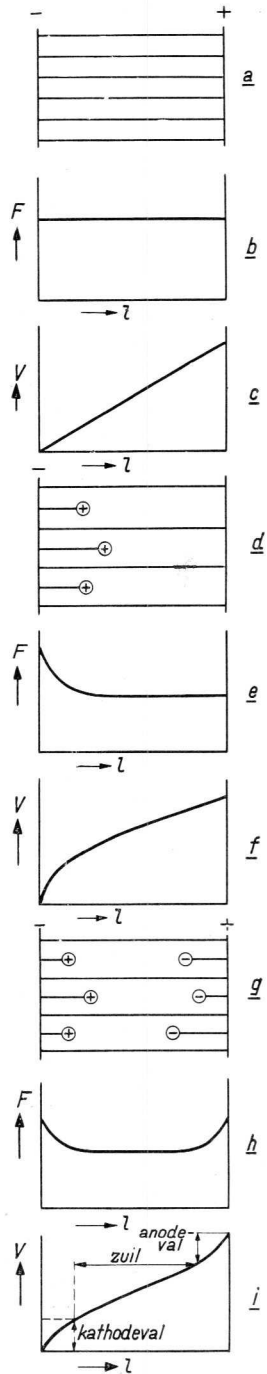


Fig. 33

Het krachtlijnenverloop (a, d en g), het veldverloop (b, e en h) en het potentiaalverloop (c, f en i) in het geval zonder ruimtelading (a, b en c), in het geval van positieve ruimtelading voor de kathode (d, e en f) en in het geval van positieve ruimtelading voor de kathode en negatieve ruimtelading voor de anode (g, h en i).

Dicht voor de anode bevindt zich soms een negatieve ruimtelading, waardoor de veldsterkte vlak voor de anode eveneens groter is dan in de zuil, en er dus ook een anodeval optreedt. Deze is kleiner naarmate de stroomdichtheid kleiner is. Bij een voldoende grote anode kan de anodeval zelfs nul zijn. In de fig. 33g, h en i hebben we de krachtlijnen, de veldsterkte en het potentiaalverloop getekend, in het geval dat zich voor de kathode een positieve ruimtelading en voor de anode een negatieve ruimtelading bevindt.

§ 4. DE BOUW VAN HET ATOOM EN DE WIJZE VAN EMITTEREN BIJ GASONTLADINGEN

We hebben in IV, 2 reeds opgemerkt dat een aangeslagen atoom bij terugkeer in de normale toestand straling uitzendt. We zullen dit verschijnsel nu iets nader bekijken. We stellen ons voor dat een atoom bestaat uit een positief geladen kern, waarin practisch de gehele massa van het atoom geconcentreerd is en waaromheen zich een aantal electronen bewegen in verschillende banen.

Deze bouw is geheel analoog aan die van een zonnestelsel, met dit verschil, dat in het atoom de aantrekking tussen kern en electron door elektrische krachten, en in het zonnestelsel door de zwaartekracht tot stand komt. Daar in beide gevallen de aantrekkingskracht omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de afstand (wet van Coulomb voor de elektrische kracht en wet van Newton voor de massakrachten), zijn de banen in beide gevallen geheel analoog.

Bij een normaal atoom is het aantal electronen dat zich om de kern beweegt juist zo groot, dat hun gezamenlijke negatieve lading gelijk is aan de positieve lading van de kern, zodat deze ladingen elkaar, wat de werking naar buiten betreft, opheffen. Het verschil tussen de elementen bestaat hierin, dat de kernlading, en dus ook het aantal electronen dat zich om de kern beweegt, verschillend is. Bij Hg bijv. bedraagt de kernlading + 80 electronenladingen en lopen 80 electronen om de kern. Deze electronen nu lopen op bepaalde banen. Tussengelegen banen komen niet voor. Dit is dus een verschil met de macrokosmos, waar bijv. een baan tussen die van Aarde en die van Mars wél mogelijk zou zijn.

Het electron dat op de buitenste baan loopt ondervindt de minste invloed van de kern. Immers, tussen dit electron en de kern lopen de andere electronen, en deze schermen het elektrisch veld van de kern voor het grootste deel af. Dit buitenste electron is dus het minst sterk gebonden, en daarom interesseren we ons in de gasontladingen hoofdzakelijk voor dit electron. Behalve in z'n normale baan, kan dit electron ook in andere

banen om de kern bewegen, waarbij het in het algemeen nog weer verder van de kern is verwijderd. Om het electron op zo'n verdere baan te brengen, moeten we energie toevoeren, evenals er energie nodig is om een voorwerp in het zwaartekrachtveld op te heffen, waarbij het ook verder van de aarde af wordt bewogen. Bij het atoom komt ook hier weer de omstandigheid naar voren, dat slechts bepaalde hogere banen toegelaten zijn en geen tussengelegene banen. De energieën van de toestanden waarin het buitenste electron zich kan bevinden, hebben dus ook

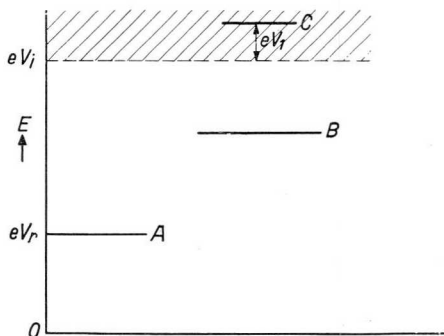


Fig. 34

Voorstelling van de energietoestanden van een atoom. Het nulniveau stelt het atoom in de normale toestand voor. In de toestanden A en B is het atoom aangeslagen. Het gearceerde gebied stelt de geïoniseerde toestand voor.

bepaalde waarden waartussen geen andere waarden voorkomen. We kunnen dit voorstellen zoals in fig. 34, waar de energie van het atoom in z'n verschillende toestanden is getekend. Hierbij betekent het nulniveau de energie van het atoom, waarbij het buitenste electron zich op z'n normale baan bevindt (grondtoestand). De energieschaal is in electronvolt, d.w.z. de eenheid van energie is hier de energie die een electron krijgt als het 1 volt vrij doorloopt (1 electronvolt = 1 eV = $1,6 \cdot 10^{-12}$ erg). Brengen we het buitenste electron op een hogere baan, dan correspondeert de energie van het atoom bijv. met het niveau A. Hierbij is alleen de hoogte van het niveau van belang, en niet de horizontale afstand tot de energie-as.

In fig. 35, waarin het energieniveauschema van Hg is getekend, zijn de niveau's ook in horizontale richting gerangschikt. Dit hangt samen met bepaalde eigenschappen van de niveau's, die maken dat het nuttig is ze in series samen te vatten. In fig. 35 liggen nu tot eenzelfde serie behorende niveau's boven elkaar. De niveau's zijn aangeduid met letters en cijfers (bij elk niveau bijgeschreven), welke verband houden met de genoemde eigenschappen.

Keren we nu weer naar het energieschema van fig. 34 terug. Het atoom kan zich dus bevinden in de grondtoestand (0-niveau), in de toestand A, in de toestand B, of in nog een aantal niet getekende toestanden, afhankelijk van de baan waarin het buitenste electron zich bevindt. Dit buitenste electron kan zich echter ook geheel los maken van de rest van het atoom. Hiervoor is een energie eV_1 nodig. V_1 noemen we de ionisatie-

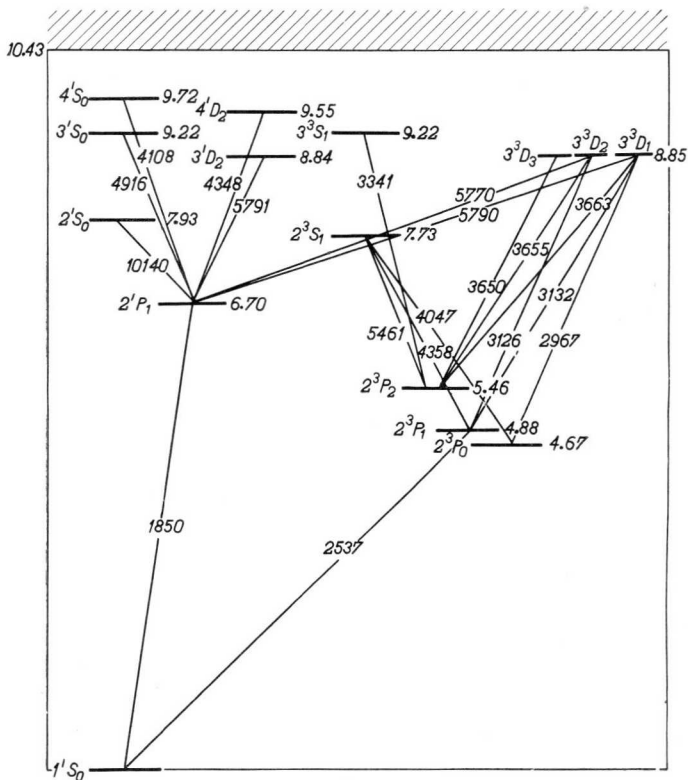


Fig. 35

Het energieniveauschema van het kwikatoom met de belangrijkste lijnen. Bij de niveau's is de hoogte boven het grondniveau (1^1S_0) in electronvolts aangegeven. Bij de overgangen tussen de verschillende niveau's is de golflengte in Å weergegeven.

van het atoom) kleiner is dan eV_r , kan alleen elastisch verlopen. Is de energie echter groter dan eV_r , dan bestaat er bij botsing een zekere waarschijnlijkheid dat het atoom, onder opname van de energie eV_r , overgaat in de toestand A, terwijl het botsende electron met een over het bedrag eV_r verkleinde energie z'n weg vervolgt. Het atoom blijft echter niet lang in de toestand A. Na een zeer korte tijd (orde van grootte 10^{-8} sec) keert het weer spontaan in de grondtoestand terug, nu de energie eV_r uitstralend, waarbij de frequentie van de straling direct evenredig is met V_r . Er geldt steeds:

$$\Delta E = e\Delta V = h\nu = hc/\lambda,$$

waarbij ΔV het hoogteverschil is tussen de beide niveau's, ν de frequentie,

spanning. De toestand C betekent dat het electron nu niet meer gebonden is aan het atoom, en zich beweegt met een zoodanige snelheid, dat z'n kinetische energie $\frac{1}{2}mv^2$ gelijk is aan eV_1 . Daar de snelheid van het electron continu kan variëren, vullen de toestanden C de gearceerde ruimte geheel op. Dit dus in tegenstelling met de discrete niveau's onder V_1 . Een botsing van een atoom in de grondtoestand met een electron waarvan de kinetische energie $\frac{1}{2}mv^2$ ($v =$ snelheid ten opzichte



Algemene verlichting met KL-buislampen voor hoogspanning.
Verlichtingssterkte 280 lux.

h de constante van Planck, c de lichtsnelheid en λ de golflengte. Vullen we de waarden van e , h en c in, dan kunnen we bovenstaande vergelijking ook schrijven als:

$$\lambda \Delta V = 12394,$$

als V in volt en λ in Å is uitgedrukt. Daar we met discrete energieniveau's, A, B enz., hebben te maken, en dus ook ΔV slechts bepaalde waarden kan aannemen, krijgen we ook straling van slechts bepaalde golflengten, d.w.z. geen continu spectrum, maar een aantal spectraallijnen, beantwoordend aan de diverse energieverschillen tussen de energieniveau's. Uit het termschema van fig. 35 kunnen we de golflengten van de kwiklijnen bepalen. Het 2^3P_1 -niveau ligt bij 4,88 volt, zodat de golflengte bij overgang van het 2^3P_1 - naar het grondniveau, gelijk is aan $12394/4,88 = 2537$ Å. Ook is het mogelijk dat bij een botsing het atoom geïoniseerd wordt, of dat een atoom in de toestand A, vooraleer onder uitzending van straling terug te keren in de grondtoestand, botst met een electron, waarbij het bijv. van de toestand A in de toestand B of in de geïoniseerde toestand kan overgaan (trapsgewijze aanslag of ionisatie), óf waarbij de aanslag-energie weer wordt omgezet in kinetische energie van het botsende electron. We zullen later zien in hoeverre deze processen invloed hebben op de lichtproductie, en hoe we de omstandigheden moeten kiezen om de straling die beantwoordt aan een bepaalde overgang zo intensief mogelijk te maken.

We hebben zoëven gezegd dat aangeslagen toestanden slechts een levensduur hebben van de orde van grootte van 10^{-8} sec. Dit geldt echter niet voor alle niveau's. Er zijn niveau's, de zogenaamde metastabiele niveau's, die, indien men het atoom verder met rust laat, veel langer leven (tot 10^{-2} sec). Dit is het gevolg van het feit dat niet alle overgangen tussen de niveau's even waarschijnlijk zijn. In fig. 35 zijn bijv. het 2^3P_2 - en het 2^3P_0 -niveau metastabiel. Deze metastabiele toestanden spelen in de gasontladingen soms een belangrijke rol.

§ 5. DE KARAKTERISTIEK

Onder de karakteristiek van een ontleding verstaan we het verband tussen de stroom door de lamp en de spanning op de lamp. In fig. 36 is zo'n verband getekend. In het algemeen daalt bij een boogontlading de spanning bij toenemende stroom. In dit geval spreken we van een negatieve karakteristiek. Het is echter geenszins waar dat alle boogontladingen een negatieve karakteristiek hebben. In fig. 37 hebben we de karakteristiek getekend van de kathodeval, waarbij we de stroomschaal logaritmisch hebben gekozen om het gebied van kleine stroomsterkte tot z'n recht te laten komen. Bij de normale glimontlading is de kathodeval

onafhankelijk van de stroomsterkte. In dit gebied is de kathode niet volledig met glimlicht bedekt, doch het bedekte oppervlak is evenredig met de stroomsterkte, zodat de stroomdichtheid op de kathode constant blijft; vandaar ook dat de kathodeval constant blijft. Dit kan natuurlijk slechts zo lang doorgaan tot de gehele kathode met glimlicht is bedekt. Bij verdere vergroting van de stroomsterkte moet de stroomdichtheid op de kathode toenemen, en dit gaat gepaard met toenemende spanning. We zijn hier aangeland in het gebied van de anomale glimontlading (in dit gebied werken de later te behandelen glimlichtstarters). Hier stijgt de spanning dus bij toenemende stroom, en we zeggen dat de ontlading in dit gebied een positieve karakteristiek heeft. Door de toenemende stroom en kathodeval neemt de warmteontwikkeling op de kathode toe (steeds meer positieve ionen vallen met steeds grotere snelheid op de kathode) en de temperatuur van de kathode stijgt. Bij P is de temperatuur zo hoog geworden, dat de kathode thermisch gaat emitteren. Bij verder toenemende stroom stijgt

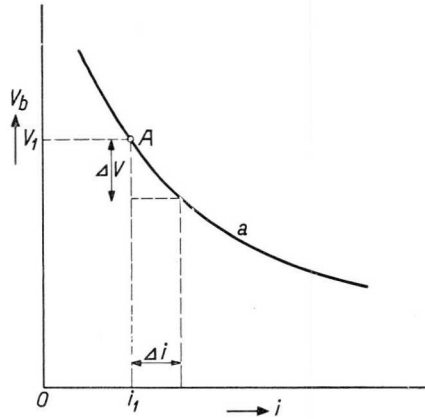


Fig. 36

De spanning aan een boogontlading als functie van de stroomsterkte (schematisch).

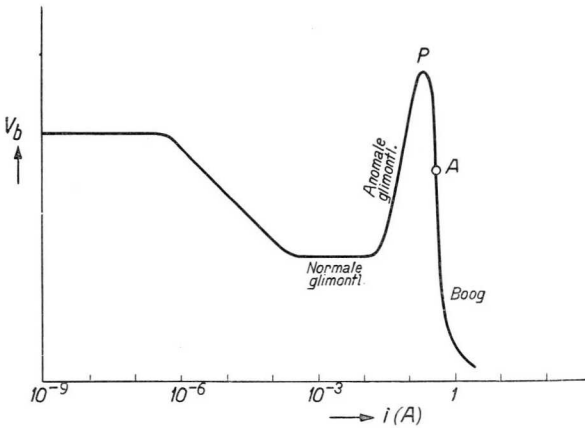


Fig. 37

De kathodeval over een groot stroomsterktegebied (in de punten A van fig. 36 en fig. 37 is de stroom gelijk) (schematisch).

de temperatuur van de kathode nog meer, waardoor de emissie groter wordt en de spanning daalt. We zagen reeds, dat bij thermische emissie de kathodeval van de orde van 10 volt wordt. We zijn hierbij aangeland in het gebied van de boogontlading. Het is in dit gebied dat de kathoden van de TL-lampen werken.

De karakteristiek van de TL-lamp is opge-

bouwd uit de karakteristiek van de kathodeval, plus de karakteristiek van het langgerekte deel van de ontlading dat zich uitstrekt van enkele cm voorbij de kathode tot vlak bij de anode (welk gedeelte de positieve zuil wordt genoemd), plus de karakteristiek van de anodeval.

De anodeval is weinig veranderlijk, doch de karakteristiek van de positieve zuil is, vooral bij lange buizen, belangrijk, omdat in dit geval op de positieve zuil een belangrijk deel van de totale spanning staat. De karakteristiek van de positieve zuil van de TL-lamp is negatief, zodat de karakteristiek van de TL-lamp als geheel ook negatief is, zoals reeds in fig. 36 schematisch werd aangegeven. De reden waarom de karakteristiek van de positieve zuil negatief is, is dat bij toenemende stroom, de ionisatie voor een groter deel trapsgewijs geschiedt. Immers, bij toenemende stroom neemt de concentratie van aangeslagen atomen toe, en de kans dat een electron botst met zo'n atoom wordt dus ook groter. Veronderstellen we nu eerst dat trapsgewijze ionisatie en aanslag niet voorkomen. In dit geval verwachten we dat de zuilspanning onafhankelijk zal zijn van de stroomsterkte. Immers, bij de dubbele stroom lopen er tweemaal zoveel electronen, en deze zullen bij dezelfde spanning op de zuil juist tweemaal zoveel ioniseren, zodat de concentratie van aangeslagen en geïoniseerde atomen juist tweemaal zo groot is. Bij dezelfde zuilspanning is de stroomsterkte dan juist tweemaal zo groot. Hebben we echter ook met trapsgewijze ionisatie te maken, dan zal deze, bij dubbele concentratie en dubbele electronenstroom, 4 maal zo frequent zijn; de electronenconcentratie wordt daardoor meer dan tweemaal zo groot, en de zuilspanning kan dalen.

§ 6. STABILISATIE

De TL-buis werkt in het gebied rechts van P (zie fig. 37), dus in het gebied van de negatieve karakteristiek. Dit brengt met zich mede, dat bij aansluiting van een TL-lamp zonder meer, op een spanning waarbij de lamp ontsteekt, doorslag optreedt. Stel dat we de lamp bij de netspanning V_1 (zie fig. 36) tot ontsteking brengen en dat de stroomsterkte i_1 is (punt A in fig. 36). De totale netspanning staat dus over de buis. Netspanning en buisspanning zijn in evenwicht. Dit evenwicht is echter labiel. Indien de stroomsterkte even Δi groter wordt, zou in de evenwichtstoestand de lampspanning ΔV lager worden. Echter blijft de totale netspanning V_1 op de lamp staan. De veldsterkte in de ontladingsbaan is dus groter dan voor de stroom $i_1 + \Delta i$ noodzakelijk is. De electronen worden dus meer versneld dan voor de stroom $i_1 + \Delta i$ noodzakelijk is, met het gevolg dat de stroom toeneemt en blijft toenemen, tot óf de buis stuk gaat óf een zekering doorbrandt. Om deze reden worden ont-

ladingslampen gebruikt in serie met een smoorspoel (wisselstroom) of met een weerstand. Gebruik in serie met condensator heeft, althans bij frequenties van circa 50 p/s, onaangename gevolgen (zie VI, 3f). Wel worden combinaties van smoorspoelen en condensatoren gebruikt, zoals in hoofdstuk IX zal worden uiteenzet.

Wij zullen hier eerst bespreken het eenvoudige geval van gelijkstroom, waarbij de ontlading wordt gestabiliseerd met een weerstand (zie fig. 31). Daartoe hebben we

in fig. 38 de karakteristiek a van de ontlading weer getekend. De netspanning zij V_n . Op de in serie geschakelde weerstand R staat bij stroomdoorgang de spanning iR . In fig. 38 zetten we deze spanning vanaf de lijn die bij V_n horizontaal loopt, naar onder uit. Veronderstellen we R constant (onafhankelijk van i), dan wordt de spanning iR voorgesteld door de rechte lijn b . Voor evenwicht is nu nodig, dat de spanning op de weerstand plus de spanning op de lamp (V_b) tezamen juist gelijk zijn aan de netspanning V_n . Hieraan wordt voldaan in punt A en in punt B. We moeten nu nog nagaan of niet, zoals in het zoëven beschouwde geval zonder stabilisatie, deze toestanden labiele evenwichten zijn. Bekijken we de toestand A, en stel weer dat de stroom Δi toeneemt, zodat we in A' komen. We hebben dan de spanning ΔV over, en de stroom zal dus, om dezelfde reden als bij de vorige beschouwing, toenemen. We verwijderen ons dus verder van het punt A, en het evenwicht in A is dus labiel. Beschouwen we nu het evenwicht B. Neemt de stroom toe tot $i_2 + \Delta i$, dan staat op de weerstand de spanning CD, en is er dus voor de ontlading slechts CG beschikbaar, terwijl in de evenwichtstoestand B'G nodig zou zijn. De veldsterkte is dus kleiner dan nodig is om de stroom $i_2 + \Delta i$ te onderhouden; de stroom zal dus afnemen, d.w.z. terugkeren naar B; in B hebben we dus een stabiel evenwicht.

Met behulp van deze beschouwingwijze is ook gemakkelijk in te zien dat, bij vergroting van de weerstand of bij verlaging van de netspanning,

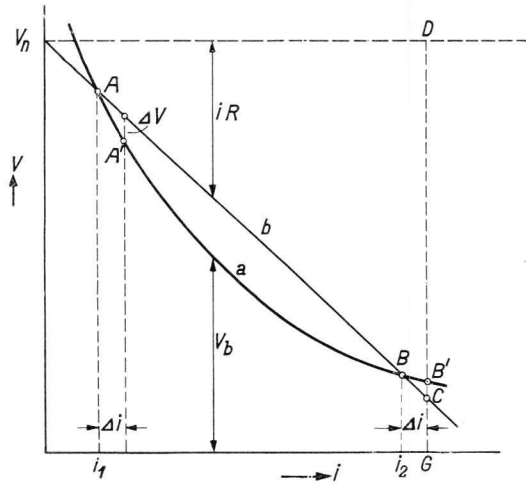


Fig. 38

Stabilisatie van de ontlading (met karakteristiek a) door middel van een in serie geschakelde weerstand (karakteristiek b) (schematisch).

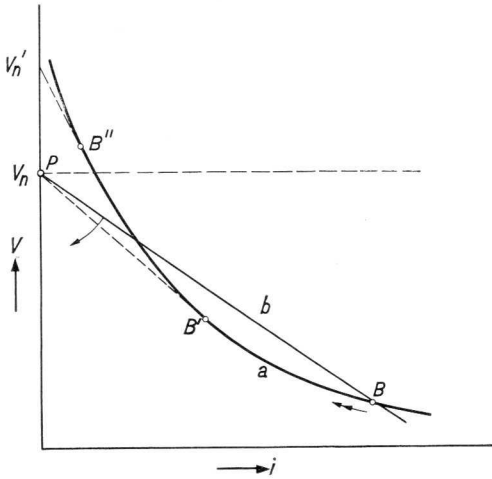


Fig. 39

Invloed op de stabilisatie door variëren van de serieweerstand en door variëren van de netspanning (schematisch).

de lamp op een gegeven moment uitgaat.

Stel de netspanning V_n vast en R variabel. Bij toenemende R draait de weerstandslijn b om het punt P in de pijlrichting (fig. 39); het evenwichtspunt loopt dus van B in de dubbele pijlrichting. Dit gaat slechts goed tot B' . Wil men de stroom nu nog verder verkleinen door R te vergroten, dan is er geen snijpunt meer, en de buis gaat uit. We kunnen dan een kleinere stroom verkrijgen door een grotere netspanning V_n' (en een grotere R) te kiezen, zoals fig. 39 laat zien, waar de toestanden tussen B' en B'' zijn te realiseren met de netspanning V_n' .

Daar in de practijk het wisselstroomgeval met stabilisatie door smoorpoel het meest voorkomt, zullen we dit geval ook nog even behandelen. De zaak ligt hier geheel analoog, alleen is nu niet de som van de spanning aan lamp en voorschakelapparaat gelijk aan de netspanning, maar bij benadering is $V_n^2 = V_b^2 + V_{sm}^2$, als V_{sm} de spanning op de smoorpoel is.

In fig. 40 zetten we dus het kwadraat van de spanningen af als functie van i , waarbij we V_{sm}^2 van de lijn ter hoogte V_n^2 naar beneden afzetten (lijn b). Het snijpunt B van deze lijn met de karakteristiek a van de ontlading geeft hier weer het punt waar de stroom gestabiliseerd wordt.

§ 7. DE STROOM- EN SPANNINGSVORM; DE ARBEIDSFAC TOR VAN DE LAMP

We hebben tot nu toe zonder meer gesproken van stroom en spanning van de buis. Bij gelijkstroom is dit voldoende. Bij het gebruik van wisselstroom fluctueren stroom en boogspanning echter gedurende de fase. Met stroom en

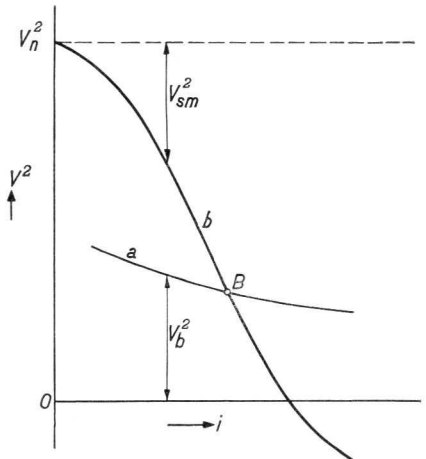


Fig. 40

Stabilisatie met een smoorpoel bij gebruik van wisselstroom.

spanning bedoelen we dan de effectieve waarden I en V , waarbij $I^2 = \frac{1}{t} \int i^2 dt$ en $V^2 = \frac{1}{t} \int v^2 dt$ (t is de tijd).

We zullen het geval, waarbij de ontleding op 50 per wisselspanning in serie met een smoorspoel plaats heeft, iets nader bekijken. In fig. 41 zijn lampstroom en lampspanning schematisch getekend. De stroom is hier sinusvormig en de spanning rechthoekig voorgesteld. De werkelijkheid wijkt hier wel wat van af, zoals de oscillogrammen van hoofdstuk IX tonen, maar in eerste benadering kunnen we fig. 41 toch wel als juist beschouwen. We kunnen hieruit afleiden hoe groot de arbeidsfactor α_{la} van de lamp is. Deze is gedefinieerd als:

$$\alpha_{la} = \frac{\frac{1}{t} \int i v dt}{I \cdot V},$$

en is dus gelijk aan het werkelijk door de lamp opgenomen vermogen, gedeeld door het schijnbare vermogen $I \cdot V$.

Daar is aangenomen dat v rechthoekig is, is v over de gehele fase constant en kan voor het integraalteken worden gezet. Bovendien is in dit geval $v = V$, zodat α_{la} wordt:

$$\alpha_{la} = \frac{1/t \int i dt}{I}.$$

Maken we nu gebruik van de veronderstelling dat i sinusvormig is, dan vinden we:

$$\alpha_{la} = \frac{\frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} i_{\max} \sin \omega t dt}{i_{\max}/\sqrt{2}} = \frac{2 i_{\max}/\pi}{i_{\max}/\sqrt{2}} = 2 \sqrt{2}/\pi = 0,90.$$

Met deze schematische vorm voor stroom en spanning vinden we dus een arbeidsfactor van 0,9. De metingen geven inderdaad hiermee overeenstemmende waarden. Doordat er meestal direct na de stroomnuldoorgang een piekje in de spanning optreedt, is de arbeidsfactor van de TL-lamp meestal iets kleiner dan 0,9. In het geval we bij 50 perioden wisselspanning met weerstand stabiliseren, is de vervorming van stroom en spanning groter en de arbeidsfactor kleiner dan 0,9.

Bij toenemende frequentie wordt de vervorming van stroom en spanning kleiner (zie fig. 74) en nadert α_{la} 1.

§ 8. DE ONTSTEKING

We hebben tot nu toe verondersteld, dat de lamp brandt. In vele gevallen zal er echter bij aansluiting, via een weerstand of smoorspoel, op bijv. de 220 volt~ van het net, niets gebeuren. De lamp ontsteekt niet. Eerst bij veel hogere spanning of door toepassing van bepaalde trucjes, ontsteekt de lamp, waarbij de spanning op de lamp dan terugvalt van de netspanning op de brandspanning, en de stroom door de lamp bepaald wordt door de karakteristiek van de lamp en de voorweerstand, zoals

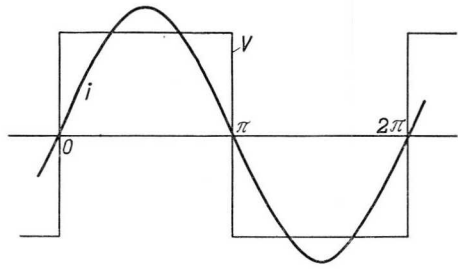


Fig. 41

Stroomvorm i en spanningsvorm v van de TL-lamp, schematisch voorgesteld bij wisselstroombedrijf (50 p/s) met smoorspoel in serie.

we in paragraaf 6 zagen. Welke hulpmiddelen in de practijk worden toegepast om de lamp te ontsteken, zullen we zien in hoofdstuk VIII. Hier willen we nagaan waarom de lamp niet ontsteekt en waaraan moet worden voldaan om te zorgen dat ze wel ontsteekt. We veronderstellen dus dat we op een gasontladingsbaan een gelijkspanning zetten van bijv. tweemaal de brandspanning. Heeft de kathode kamertemperatuur, dan zullen er practisch geen electronen door de kathode worden geëmitteerd en gebeurt er niets. De enkele electronen die door de kosmische straling in de buis worden vrijgemaakt, worden door het electriche veld onvoldoende versneld om te ioniseren. Verhogen we nu de spanning, dan kunnen we het stadium bereiken, dat door de grotere electriche veldsterkte de toevallig aanwezige electronen wel in staat zijn te ioniseren. Het positieve ion gaat op weg in de richting van de kathode en kan, op de kathode vallend, uit die kathode een electron vrijmaken, zoals we dit in IV, 1 bespraken. Bekijken we nu de gevolgen die dit electron veroorzaakt. Het gaat op zijn beurt op weg en kan ioniseren, waarbij het dan ontstane ion en electron ook weer op weg gaan, enz. De gevormde positieve ionen, die alle als gevolg van het ene uittredende electron zijn ontstaan, gaan op weg naar de kathode. Een deel ervan zal de kathode bereiken, en als deze positieve ionen gezamenlijk in staat zijn weer één electron uit de kathode vrij te maken, dan blijft de ontlading aan de gang. De ontsteking zal dus des te gemakkelijker gaan naarmate de spanning op de lamp hoger is (daar bij de grotere veldsterkte de ionisatie vlotter verloopt) en naarmate de electrode gemakkelijker electronen emitteert. We zagen reeds dat dit laatste het geval is bij een lagere uittreepotentiaal. Echter zullen ook de aard en de druk van het gas een rol

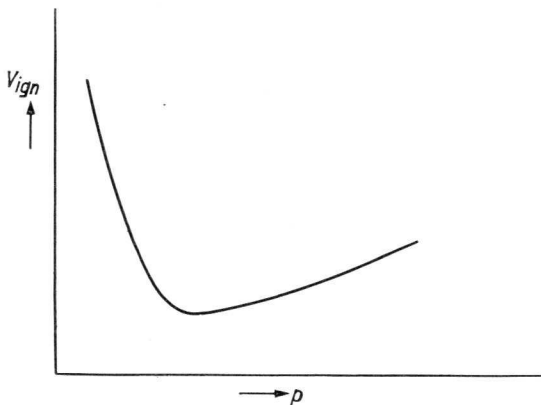


Fig. 42

De ontsteekspanning als functie van de gasdruk (schematisch).

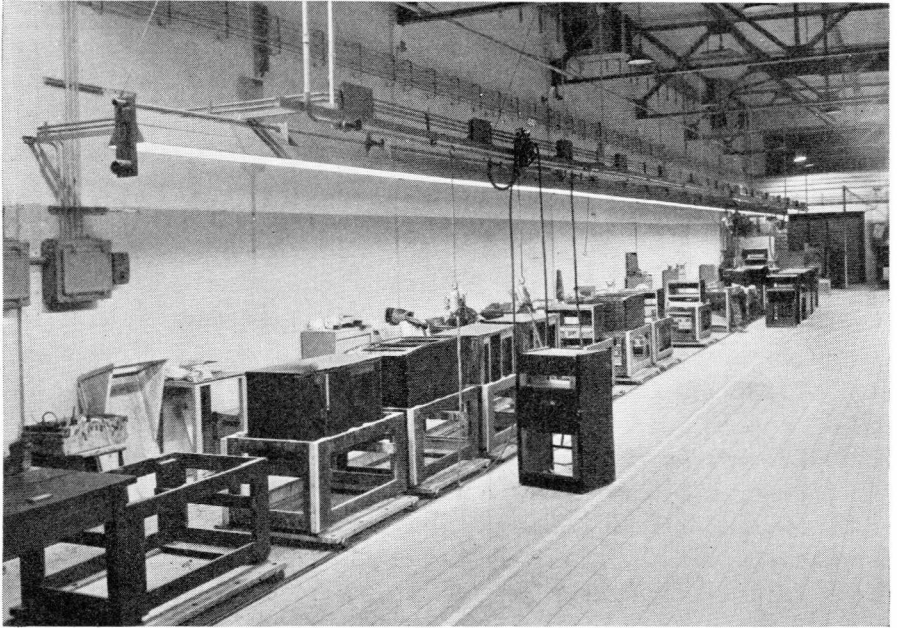
spelen, daar enerzijds de ionisatie erdoor wordt bepaald en anderzijds de positieve ionen die op de kathode vallen, afhangen van de aard van het gas. Bij TL-lampen wordt meestal de kathode gegloeid vóór de spanning op de lamp komt (zie V, 3). Het bovengeschetste proces is dan niet nodig, daar de kathode nu electronen emitteert omdat ze op hoge temperatuur

staat. De doorslag wordt nu hoofdzakelijk bepaald door de ruimte tussen de elektroden (afmetingen, aard en druk van het gas). De ontsteking bij TL-buizen is in het algemeen moeilijker naarmate de buis langer en dunner is.

De invloed van de druk van het gas kan men gemakkelijk inzien. Bij druk nul kan er in het geheel geen ionisatie plaats hebben en is de doorslagspanning oneindig hoog. Bij zeer hoge druk is de gemiddelde vrije weglengte van het electron zeer klein en kan het niet op snelheid komen. Het verliest nu energie door elastische botsingen. In dit geval is de ontsteking dus ook moeilijk. Het is dus begrijpelijk dat de ontsteekspanning als functie van de druk een verloop heeft als in fig. 42 is weergegeven.

Rest nu nog een bespreking van de invloed van de aard van het gas. In de TL-buis is dit in het algemeen een mengsel van argon en kwikdamp. Het blijkt nu, dat de ontsteking veel gemakkelijker gaat in argon *met* kwikdamp dan in argon *zonder* kwikdamp. Bij kamertemperatuur bedraagt de kwikdampdruk in de lamp circa 1/1000 mm Hg, terwijl de argon-druk enkele mm bedraagt. De oorzaak van de goede ontsteking van dit mengsel is, dat het in de metastabiele toestand aangeslagen argon-atoom in staat is het Hg-atoom te ioniseren. Hiervoor is nodig dat de metastabiele aanslagspanning van argon hoger ligt dan de ionisatiespanning van kwik. Dit is inderdaad het geval (11,5, resp. 10,4 volt). Een om dezelfde reden gunstig gasmengsel is Ne met een klein percentage (bijv. 1/2%) argon.

Dit verschijnsel is oorzaak dat met argon gevulde TL-lampen bij lagere temperatuur moeilijker ontsteken dan bij kamertemperatuur. De Hg-dampdruk wordt dan zo laag, dat het bovengenoemde gunstige effect niet meer optreedt en de ontsteekspanning dus gelijk is aan de in zuiverar gon.



Plaatselijke verlichting bij muurvlak zonder vensters.
Buislampen TL-40 W op 1,20 m boven het werkvlak. 375 lux.



Lampenfabriek, verlicht met dubbele rijen TL-lampen in de reflectoren.
Verlichtingssterkte 275 lux; lichtstroom 600 lm/m².

DR. W. ELENBAAS

LAMPCONSTRUCTIE

§ 1. WAAROM LAGE-DRUK KWIKLAMPEN?

Bij de TL-lampen gaat het er om een ontlading te verkrijgen, die zoveel mogelijk straling levert van een golflengte waarvoor het fluorescentiepoeder maximaal gevoelig is. Het is dus gunstig zoveel mogelijk energie in één spectraallijn uit te stralen en dan een poeder te kiezen dat voor die golflengte een grote gevoeligheid bezit, d.w.z. voor ieder stralingsquant dat er op valt, practisch altijd een lichtquant uitstraalt. Verder is het gunstig dat de golflengte van die spectraallijn niet te ver in het U.V. ligt, daar de energie van een stralingsquant ($= h\nu$) groter is naarmate de frequentie groter is. De fluorescerende stof zet dus een energierijker stralingsquant om in een energiearmer lichtquant. Hoe groter het verschil, hoe groter het energieverlies. De mogelijkheid een groot deel van de aan de ontlading toegevoerde energie als straling van een bepaalde golflengte uit te stralen, is practisch alleen te verwezenlijken voor de resonantielijnen. We moeten dus een gas of damp hebben waarvan de resonantielijnen niet te ver in het U.V. ligt, en waarvan — in het geval van een damp — de dampspanning bij kamertemperatuur zo mogelijk 10^{-3} mm bedraagt; dit laatste omdat anders de temperatuur van de lamp hoog moet zijn (om de gewenste dampspanning te krijgen), hetgeen energieverlies door warmtegeleiding met zich mee brengt. Wegens deze eisen is het aantal mogelijkheden zeer beperkt. Bij de edelgassen liggen de resonantielijnen zeer ver in het ultraviolet, zodat het energieverlies bij omzetting in zichtbaar licht, groot is. Van de dampen is kwik de enige met een gunstige dampspanning. Bij kamertemperatuur (20°C) is deze nl. $1,2 \cdot 10^{-3}$ mm. De resonantielijnen van Hg liggen bij 1850 en 2537 Å. Dit is gunstiger dan bij de edelgassen. Kwikdamp blijkt dan ook de beste resultaten te geven.

Zoals we reeds opmerkten, moeten we een ontlading maken waarbij een groot deel van de toegevoerde energie wordt omgezet in resonantiestraling. Nu is het voor opwekking van de resonantiestraling gunstig dat de stroomdichtheid klein en de druk laag is. Bij kleine stroomdichtheid is nl. de kans op tragsgewijze aanslag, waarbij hogere niveau's worden

aangeslagen ten koste van de resonantieniveau's, klein. Lage druk hebben we nodig, omdat resonantiestraling door de kwikdamp zelf geabsorbeerd kan worden. Het blijkt dat het rendement van de resonantiestraling optimaal is bij een kwikdampdruk van circa $5 \cdot 10^{-3}$ mm. Bij lagere druk wordt de kans op botsingen tussen electronen en Hg-atomen te klein, en bij hogere druk wordt de absorptie van de resonantiestraling te groot. Bij de kwikdamp voegen we dan enkele mm edelgas (meestal argon), om de botsingskans tussen electronen en Hg-atomen te vergroten. Deze edelgasdruk mogen we weer niet te groot maken, omdat anders de botsingsverliezen (zogenaamde volumeverliezen) te groot worden.

§ 2. WAAROM LANGE EN WIJDE BUIZEN?

Bij deze lage drukken is de elektrische gradiënt (V/cm) in de asrichting van de buis laag.

Stel nu dat we een TL-buis willen ontwerpen die op een net van bijv. 220 V~ moet branden, met een vermogen van W watt. De som van anode- en kathodeval is circa 15 volt, zodat we, om de elektrodenverliezen relatief laag te houden, de boogspanning groot willen hebben, vergeleken met deze 15 volt, bijv. 150 volt. Zo hoog kunnen we echter om andere redenen (stabiliteit, ontsteekmoeilijkheden) meestal niet gaan. Het compromis ligt bij circa 100 - 125 volt. Neem bijv. 115 volt. De booglenkte \times de gradiënt moet dus circa 100 volt bedragen (15 volt anode- plus kathodeval). Door het vermogen en de boogspanning is de stroomsterkte bepaald (arbeidsfactor van de lamp circa 0,9 — zie IV, 7).

Door de eis van lage stroomdichtheid komen we op een grote buisdiameter. Maken we de buisdiameter te groot, wat voor de stroomdichtheid gunstig zou zijn, dan lopen we vast doordat de absorptie te groot en de temperatuur van de lamp, en daardoor de Hg-dampdruk, te laag wordt. Immers, bij grotere diameter neemt de gradiënt af, en dus bij gegeven stroomsterkte eveneens het energieverbruik per cm buislenkte, terwijl het oppervlak van de wand evenredig met de diameter toeneemt. Beide redenen geven een lagere wandtemperatuur. Voor elke stroom bestaat er dus een optimale buisdiameter. Voor de stromen waarmee we gewoonlijk werken ($\frac{1}{4}$ - 1 A) ligt deze diameter bij circa 25 - 50 mm. De gradiënt hierbij is van de orde van $\frac{1}{2}$ tot 1 V/cm. Daar we bij 220 volt netspanning 100 volt op de zuil willen hebben, wordt de lengte dus van de orde van 2 tot 1 meter. Voor 110 V netten en zonder gebruik van transformatoren, moet de boogspanning circa de helft zijn, en wordt daardoor ook de lengte circa de helft. Aan de ene kant is dit wel prettig, echter is het rendement bij deze korte lampen kleiner, doordat de electrodeverliezen relatief groter zijn (zie VI, 3d).

Men komt dus vanzelf tot lange en wijde buizen. Dit heeft wel bezwaren. Het manipuleren met deze buizen en het verzenden is moeilijk, de armaturen worden groot, enz. Er is echter ook een voordeel aan verbonden: de oppervlaktehelderheid van deze lampen is klein. Bij direct zicht op de buis wordt men lang niet zo erg verblind als dat bij een gloeilamp het geval is.

§ 3. ELECTRODENCONSTRUCTIE

De functie van de electroden bestaat in het vergemakkelijken van de overgang van de stroom van de metalen geleider naar het gas en omgekeerd. De moeilijkheid is hier hoofdzakelijk gelegen in de kathode, omdat electronen wel gemakkelijk in een metaal treden (hierbij komt energie vrij), maar er niet gemakkelijk uitkomen (zie IV, 1). Bij het bedrijven met wisselstroom is elke elektrode afwisselend kathode en anode, zodat beide lampeinden onderling gelijk worden gemaakt, en we dus in principe aan beide einden zowel een kathode als een anode moeten hebben. De constructie van de elektrode is echter in hoofdzaak bepaald door haar functie als kathode. De kathode van de TL-lamp bestaat uit een dubbele spiraal van wolfram, die bedekt is met Ba- en Sr-oxyde. De reden waarom een spiraal wordt genomen is dat men, om de ontsteking van de lamp te vergemakkelijken, de kathode op een hogere temperatuur brengt. Dit wordt bereikt door de kortsluitstroom van het voorschakelapparaat door de beide spiralen te sturen, zoals fig. 43 aangeeft; de schakelaar is in koude toestand gesloten. De diameter van de wolframdraad wordt nu zó gekozen dat, bij doorgang van de kortsluitstroom van de smoorspoel, de spiralen de vereiste temperatuur krijgen. Dat men geen enkele spiraal, maar een dubbele spiraal (Bi-Arlita) gebruikt, heeft twee redenen. Ten eerste kan men gemakkelijker de vereiste hoeveelheid emitter op en in een dubbele spiraal aanbrengen, en ten tweede wordt de ontsteking bevorderd als er bij doorgang van de kortsluitstroom een vrij hoge spanning (circa 15 volt) op de uiteinden van de spiraal staat, waardoor een boogje over de spiraal ontstaat. De weerstand van de draad moet

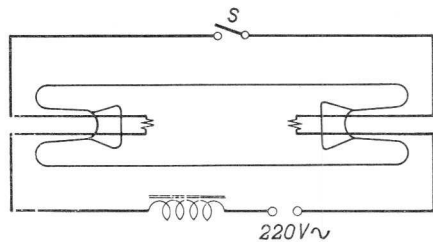


Fig. 43

Een veel toegepaste manier om een TL-lamp te ontsteken. De schakelaar S wordt gesloten, waardoor de kortsluitstroom van de smoorspoel door de electroden gaat. Deze zijn als enkele spiraal getekend, maar zijn in werkelijkheid dubbele spiralen. De electroden worden warm, en bij openen van de schakelaar S ontsteekt de lamp, doordat de plotselinge verbreking van de stroom door de smoorspoel een spanningsstoot veroorzaakt.

daarom vrij groot zijn, wat tot een lange draad en tot tweevoudig spiraliseren voert. Wordt de schakelaar S bij doorgang van de kortsluitstroom geopend, dan komt de volle netspanning plus de spanningsstoot, veroorzaakt door het plotseling verbreken van de stroom door de smoorspoel, op de lamp te staan. De hoge kathodetemperatuur, de voorionisatie en de hoge spanning doen de lamp dan ontsteken. Automatisch werkende schakelaars zullen in hoofdstuk VIII worden behandeld.

Zoals reeds opgemerkt, moet de electrode die in de ene fase als kathode heeft gewerkt, in de andere fase als anode dienst doen. Daarom wordt de electrode iets ingewikkelder uitgevoerd dan in fig. 43 is weergegeven. De warmteontwikkeling aan de anode is nl. groter dan aan de kathode (enerzijds doordat de kathodeval kleiner is, anderzijds doordat er energie wordt gebruikt om electronen te emitteren). Dit heeft ten gevolge dat, bij uitvoering volgens fig. 43, de electrode het heetst zou zijn in de anodefase. Daar de electrode in deze fase geen electronen moet emitteren, is deze hogere temperatuur geheel onnodig en zelfs schadelijk, omdat de emitter bij deze hogere temperatuur sneller verdampt. Daarom wordt een niet met emitter bedekt deel aan de electrode toegevoegd, dat in de kathodefase niet werkt, maar in de anodefase een gedeelte van de stroom voert (ongeveer evenredig aan het oppervlak van dit deel ten opzichte van het totale electrodeoppervlak). Om nog een extra voordeel van dit onbedekte electrodedeel te hebben, wordt het in de Philips lampen uitgevoerd als een ring om de spiraal. Deze ring is zó hoog (± 5 mm), dat de spiraal er geheel binnen ligt. Bovendien is de ring niet rond, doch

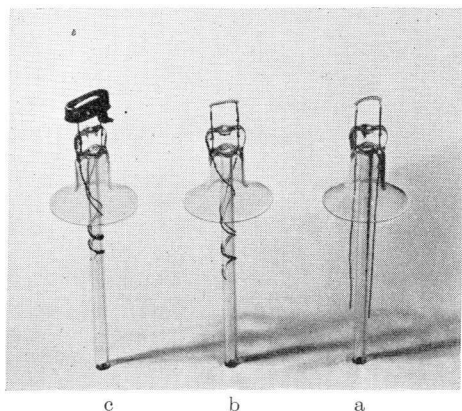


Fig. 44

Van rechts naar links:
 a Het „stel” met de gemonteerde spiraal.
 b De spiraal bedekt met Ba-Sr carbonaat.
 c Met de ring gemonteerd.

ovaal, zodat de spiraal min of meer door de ring is omsloten. Materiaal dat van de spiraal damp, slaat nu voor het grootste deel aan de binnenkant van de ring neer, waardoor het gepoederde buiseinde vrij blijft van zwarting. De ring is bevestigd aan een van de toevoeren van de spiraal, zodat in de anodefase een behoorlijk deel van de electronenstroom naar de ring gaat en de eigenlijke kathode niet overmatig wordt verhit.

§ 4. HET BEDEKKEN VAN DE SPIRALEN

Zoals reeds werd opgemerkt, wor-

Fig. 45

De roterende pomp waarop TL-lampen worden vacuüm gehaald, verhit en voorzien van edelgas en kwik.

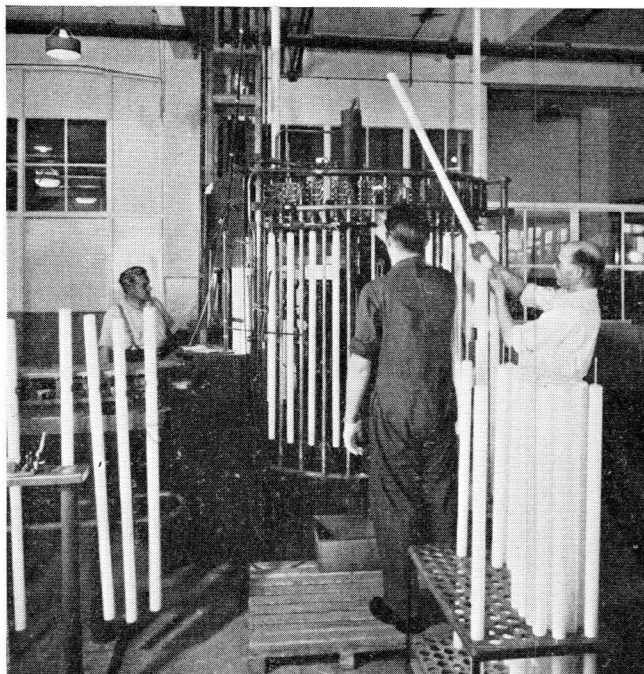
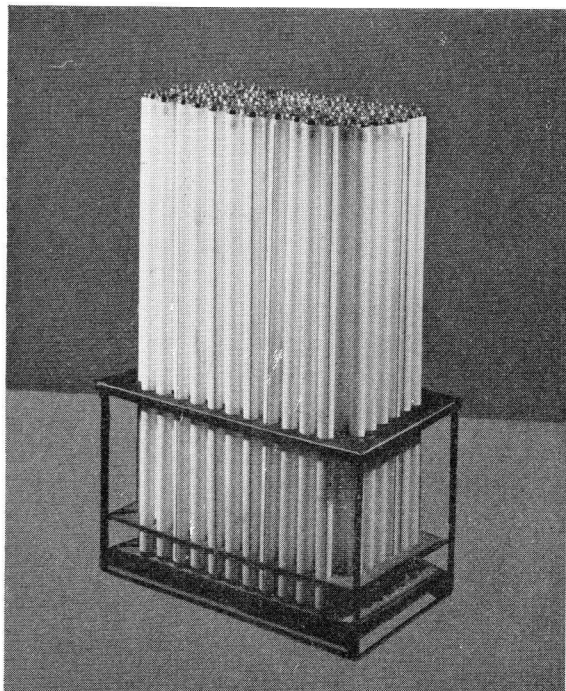


Fig. 46

TL-lampen, gereed voor de verpakking.



den de spiralen bedekt met een laagje, bestaande uit Ba-oxyde en Sr-oxyde, om de uittreepotentiaal te verkleinen. In de regel wordt de emitter opgebracht als Ba-Sr-carbonaat, dat dan later gedurende het pompproces wordt ontleed in Ba-Sr-oxyde plus CO_2 , welk laatste bestanddeel wordt afgepompt.

Het carbonaat kan op de spiraal worden gebracht door dopen, spuiten of door kataphorese. Deze laatste methode wordt door Philips toegepast. Hiertoe wordt

een suspensie van mengkristallen van Ba-Sr-carbonaat in methylalcohol en aceton gemaakt. Door adsorptie van positieve ionen worden de Ba-Sr-carbonaatdeeltjes geladen. De spiraal wordt nu in een bakje met deze suspensie gedompeld, en een spanning wordt aangelegd tussen de spiraal en een, eveneens in het bakje geplaatste metalen plaat, waarbij de spiraal kathode is. De Ba-Sr-carbonaatdeeltjes bewegen nu gemiddeld naar de spiraal (op dezelfde wijze als de positieve ionen in een gasontlading naar de kathode bewegen) en slaan op de spiraal neer. De elektrische krachten helpen hier mee om de hechting tussen spiraal en laag stevig te maken. De dichtheid van een kataphoretisch opgebrachte laag is dan ook groter dan die van een laag die door dompelen is opgebracht, wat ook wijst op een stevigere pakking. Door variatie van de spanning en de tijd van bedekken, kan de laagdikte gemakkelijk worden gevarieerd.

§ 5. DE VERVAARDIGING VAN DE LAMP

De glazen buis wordt van te voren met fluorescerend poeder bedekt en de binder wordt verwijderd, zoals reeds is beschreven in II. Hierna worden de „stellen” met de bedekte spiralen en anoderingen (fig. 44) aan weerszijden in de buis gesmolten; aan de ene zijde komt een stel met een pompstengel, waardoor de buis straks met de pompleiding wordt verbonden.

De lamp is nu zover dat ze kan worden gepompt. Ze wordt hiertoe met de pompstengel op de pomp (zie fig. 45) aangesloten en vacuum gehaald. Vervolgens verhit men de buis om het glas goed schoon te maken; de spiralen worden gegloeid om de carbonaten in oxydes om te zetten, waarbij het vrijkomende CO_2 wordt afgepompt. Ten slotte wordt de buis met enkele mm argon en een druppeltje Hg gevuld en afgesmolten. Aan elk einde wordt nu een lampvoet opgezet, waarbij de twee aan elk uiteinde uit de buis komende draadjes door de zich op de lampvoet bevindende holle pennen worden gestoken. De lampvoet wordt nu door middel van een speciale kit op de buis bevestigd, en de draadjes worden, nadat de uitstekende einden zijn afgeknipt, aan de pennen gesoldeerd.

De lamp is nu practisch klaar. De ontsteekspanning is echter meestal nog wat te hoog, omdat het gas nog niet geheel zuiver is. Daarom worden de lampen enige tijd gebrand, waardoor eventuele verontreinigingen in het gas door „getterwerking” van de spiralen en van de fluorescerende laag verdwijnen. Om ontsteken ook in vochtige omgeving te garanderen, brengt men ten slotte een electrisch geleidend stripje op de buis aan. Fig. 46 toont de lampen in dit stadium.

RENDEMENTSBSCHOUWINGEN

§ 1. HOEVEEL LICHT KUNNEN WE VAN EEN TL-LAMP VERWACHTEN?

Om deze vraag te beantwoorden gaan we eerst eens na hoeveel licht we onder de meest ideale omstandigheden zouden kunnen krijgen, daarbij veronderstellend dat we een Hg-ontlading hebben die alle toegevoerde energie omzet in 2537 Å straling, dat het fluorescentiepoeder een quantenopbrengst heeft van 100% — d.w.z. dat voor elk opvallend quant een lichtquant wordt uitgezonden — en ten slotte, dat dit uitgezonden lichtquant een golflengte heeft waarvoor het oog maximaal gevoelig is en in de poederlaag zelf in het geheel niet geabsorbeerd wordt. Natuurlijk is dit alles niet te verwezenlijken; voor de meeste toepassingen zou dit ook zelfs niet gewenst zijn, daar we dan een lichtbron zouden hebben die slechts licht van één golflengte emitteert, zoals bijv. de Na-lamp dit doet. Dit nu is voor sommige toepassingen niet hinderlijk en soms zelfs gewenst, maar voor het gebruik van de TL toch meestal geheel ongeschikt. Echter, voor dit geïdealiseerde geval kunnen we het lichtrendement gemakkelijk berekenen. Voor elke watt elektrische energie die we in de buis stoppen, krijgen we dus 1 watt 2537 Å straling. Deze energie zetten we om in straling van de golflengte 5550 Å. Daar de energie van een quant van 5550 Å slechts 2537/5550 is van een quant van 2537 Å, krijgen we dus $2537/5550 = 0,46$ watt straling van de golflengte 5550 Å.

Nu geeft 1 watt straling van de golflengte 5550 Å een lichtstroom van 680 lumen, zodat 0,46 watt 310 lumen geeft. We berekenen dus 310 lm/watt. Hoe ver moeten we daar practisch onder blijven?

Het emissiespectrum van een fluorescentiepoeder is nooit tot een enkele spectraallijn beperkt, en bovendien willen we voor de meeste toepassingen ook een emissie hebben in het gehele zichtbare deel van het spectrum, waarbij dus de ooggevoeligheid varieert van 0 tot 1. Daar ook nog een deel van het fluorescentielicht buiten het zichtbare gebied zal vallen, zullen we voor de practijk een gemiddelde ooggevoeligheid van 0,4 aannemen. De verhouding van de energie van het lichtquant tot de energie van het 2537 quant, is voor het blauw iets gunstiger en

voor het rood iets ongunstiger dan de boven berekende 0,46, zodat we deze waarde ook wel als het gemiddelde kunnen handhaven voor de 2537 Å straling. Voor de 1850 Å straling is de factor $1850/5550 = 0,33$. Daar de 2537 Å lijn de sterkste is, nemen we voor het gemiddelde 0,44.

Een fluorescentiepoeder met een quantenrendement van 90% is al een heel goed poeder, en een ontlading die de toegevoerde energie voor $\frac{3}{4}$ omzet in de resonantielijnen is ook wel de beste die bereikt kan worden (we moeten dan de buis zó lang maken, dat de electrodeverliezen relatief klein zijn, en de buisdiameter zó kiezen dat we optimale condities scheppen), zodat we als practische grens voor de lichtstroom, opgewekt door 1 watt, vinden: $680 \times 0,44 \times 0,4 \times 0,90 \times 0,75 = 80$ lumen. Het theoretisch rendement is dus nu 80 lm/W. In de practijk blijven we nog wel onder dit ideaal (we hebben ook de absorptie van het licht in de fluorescerende laag verwaarloosd,) maar het ziet er toch naar uit, dat rendementen van 70 lm/watt wel bereikbaar zijn. Natuurlijk is het gemakkelijker een hoog rendement te halen, naarmate de emissieband van de fosfor nauwer om de 5550 Å ligt. De kleurweergave wordt dan weliswaar iets minder, doch voor sommige toepassingen is dit geen bezwaar.

§ 2. DE ENERGIEBALANS VAN DE TL-LAMP

In fig. 47 hebben we een voorstelling gegeven van de energieomzetting in een TL-buis. We veronderstellen een toevoer van elektrische energie van 100 watt, die op diverse wijzen in andere energievormen wordt omgezet. We hebben dit aangegeven met kanalen die des te breder getekend zijn, naarmate er meer energie door afvloeit. De elektrische energie is ongekleurd gelaten. De ultraviolette straling is blauw gekleurd, rood stelt warmte voor, en geel is zichtbaar licht. De bijgeschreven energiestromen zijn natuurlijk globaal, en in werkelijkheid voor verschillende buistypen uiteenlopend.

Van de 100 watt toegevoerde energie wordt circa 2 watt door de ontlading direct in zichtbaar licht omgezet, circa 60 watt in 2537 Å en 1850 Å straling, waarvan het grootste deel in 2537 Å; de rest wordt in warmte omgezet in de ontlading en aan de elektroden. De 60 watt 2537 en 1850 Å straling vallen op het fluorescentiepoeder. Rekenen we met een gemiddelde energieverhouding tussen geëmitteerd en geabsorbeerd quant van 0,44, en op een quantenrendement van 75% (hierin is de absorptie van het licht in de fluorescerende laag verdisconteerd), dan worden dus $60 \times 0,44 \times 0,75 = 20$ watt in licht omgezet. De rest, zijnde 40 watt, wordt in het fluorescentiepoeder omgezet in warmte. Totaal krijgen we dus 22 watt zichtbaar licht. Met een gemiddelde ooggevoeligheid van 0,4, geeft dit $22 \times 680 \times 0,4 = 6000$ lm.

Aan de buiswand wordt 78 watt als warmte afgegeven. In de evenwichtstoestand worden hiervan ongeveer 60% door geleiding en convectie afgevoerd en circa 40% door warmtestraling. Deze laatste verdeling hangt sterk af van de temperatuur van de buiswand en dus van de buisafmetingen. Ook de wijze van opstelling van de buis (vrij of in armatuur) heeft hierop invloed. Aan de hand van fig. 47 kan men gemakkelijk begrijpen waarom TL-licht zo aangenaam is, wat z'n warmtestraling betreft. Van de 100 watt worden circa $22 + 30 = 52$

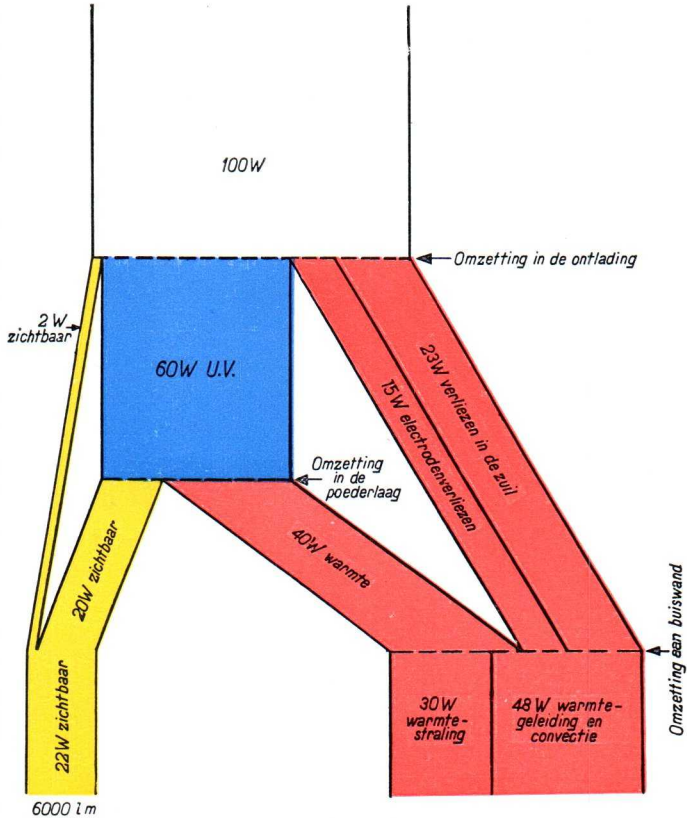


Fig. 47

Voorstelling van de energieomzettingen in een TL-lamp. Van de 100 watt toegevoerde energie wordt circa 2 watt direct in zichtbaar licht omgezet en 60 watt in straling van de golflengten 2537 Å en 1850 Å. De rest is verlies aan de elektroden (15 watt) en volumeverliezen plus wandverliezen (23 watt). Deze verliezen bereiken de buiswand als warmte. De 60 watt U.V. straling die op het fluorescentiepoeder valt, geeft circa 20 watt zichtbare straling en circa 40 watt warmte, welke laatste weer aan de buiswand wordt afgegeven. Van de 78 watt die als warmte aan de buiswand wordt afgegeven, wordt circa 30 watt uitgestraald (infrarode warmtestraling), en 48 watt wordt door warmtegeleiding en convectie afgevoerd. De 22 watt zichtbare straling levert circa 6000 lumen (afhankelijk van de kleur van het fluorescentielicht). Electrische energie ongekleurd; U.V. straling blauw; zichtbaar licht geel; warmte rood.

watt uitgestraald. De lichtstroom bedraagt 6000 lm, zodat we circa 0,009 watt straling per lumen hebben. Bij een gloeilamp ligt dit geheel anders. Een 100 W gloeilamp, waarbij van de 100 watt circa 90 watt wordt uitgestraald, geeft circa 1500 lumen. Per lumen hebben we dus een straling van 0,06 watt of $7 \times$ zo veel als bij de TL-lamp. Bij gelijke verlichtings-

sterkte hebben we dus bij een gloeilamp $7 \times$ zoveel stralingsenergie als bij een TL-lamp. Deze factor is dus het gevolg van het hoge rendement van de TL-lamp, vergeleken met de gloeilamp (factor 4), en van de geringere totale straling bij de TL-lamp.

§ 3. HET RENDEMENT ALS FUNCTIE VAN EEN AANTAL PARAMETERS

De lichtstroom van een TL-lamp hangt af van de kwaliteit en de laagdikte van het fluorescentiepoeder, en van de er op vallende hoeveelheid straling van de golflengten 2537 \AA en 1850 \AA . Het rendement van de TL-lamp zal dus ook van deze factoren afhangen. Wat de kwaliteit van het fluorescentiepoeder betreft, verwijzen wij naar hoofdstuk II. Dat de laagdikte van invloed is, kan men gemakkelijk inzien. Immers, bij laagdikte nul krijgen we geen fluorescentielicht, en bij laagdikte ∞ ook niet, omdat het licht dat aan de binnenkant van de laag wordt geproduceerd, niet door de poederlaag naar buiten kan treden. Er is dus een gunstigste laagdikte, waarbij bijna alle 2537 \AA straling wordt geabsorbeerd en de absorptie van het fluorescentielicht nog gering is.

We zullen ons nu bezig houden met de derde factor, nl. de bij gegeven vermogen in de lamp op het poeder vallende hoeveelheid straling van de golflengten 2537 \AA en 1850 \AA , waarvan de eerste de belangrijkste is, daar de 1850 \AA straling slechts een gering deel (orde van 10%) van de gezamenlijke straling uitmaakt. De intensiteit van een spectraallijn kan afhangen van de kwikdampdruk, de stroomsterkte, de buisdiameter, de buislengte, het edelgas (aard en druk) en de stroomvorm. De kwaliteit van de elektroden (vooral die van de kathode) speelt natuurlijk ook een rol. Hoe kleiner de anode- en de kathodeval, hoe groter het rendement. We zullen nu de invloed van de genoemde parameters op de intensiteit van de resonantiestraling bespreken.

a. *De kwikdampdruk*

Houden we de andere genoemde parameters constant en variëren we alleen de kwikdampdruk, dan kunnen we voorspellen dat ook hier een optimum optreedt. Is de kwikdruk te laag, dan is de kans dat een electron met een Hg-atoom botst te klein, en is de dampdruk te hoog, dan is de absorptie van de resonantiestraling te hoog. Daar tussenin moet dus een gunstige druk liggen. Dit blijkt ook inderdaad het geval te zijn.

We kunnen de afhankelijkheid als functie van de dampdruk het best meten door een TL-buis te bedienen in een waterbad van variabele temperatuur, en de hoeveelheid licht te meten bij constant gehouden stroom. Het opgenomen vermogen zal hierbij een weinig kunnen veranderen,

daar de gradient ook van de dampdruk afhankelijk. In fig. 48 hebben we de relatieve verandering van het rendement getekend, waar- bij de dampdruk (bovenste schaal) werd bepaald door de temperatuur van het waterbad (onderste schaal). De kwikdampdruk is dus de bij die temperatuur behorende verzadigingsdampdruk van kwik. Het maximum rendement wordt bereikt tussen 30 en 50 °C, overeenkomend met een dampdruk van $3 \text{ tot } 12\frac{1}{2} \times 10^{-3} \text{ mm}$.

b. De stroomsterkte

Houden we de andere parameters constant, dan verwachten we bij toenemende stroomsterkte een dalend rendement, daar met toenemende stroomdichtheid de kans op trapsgewijze aanslag toeneemt. De meting, die, om de kwikdampdruk constant te houden, weer het best in een waterbad kan geschieden, bevestigt deze verwachting. In fig. 49 stelt de getrokken lijn het rendement voor bij constante dampdruk.

Stel dat deze lijn geldt voor de optimale druk. We kunnen nu de bus in lucht laten branden en de stroomsterkte zo kiezen, dat de optimale druk zich instelt. Stel dat dit gebeurt bij de stroomsterkte i_1 , zodat het rendement η_1 bedraagt (punt P). Gaan we nu de stroom variëren, dan zal de druk voor $i > i_1$ hoger en voor $i < i_1$ lager zijn dan deze optimale druk. Het rendement zal dus verlopen volgens de streeplijn die in P aan de getrokken lijn raakt. Bij heel kleine stroom wordt de dampdruk zo laag, dat het rendement ondanks de kleinere stroomdichtheid gaat zakken.

c. De buisdiameter

Bij constante kwikdampdruk is de optimale buisdiameter groter naar-

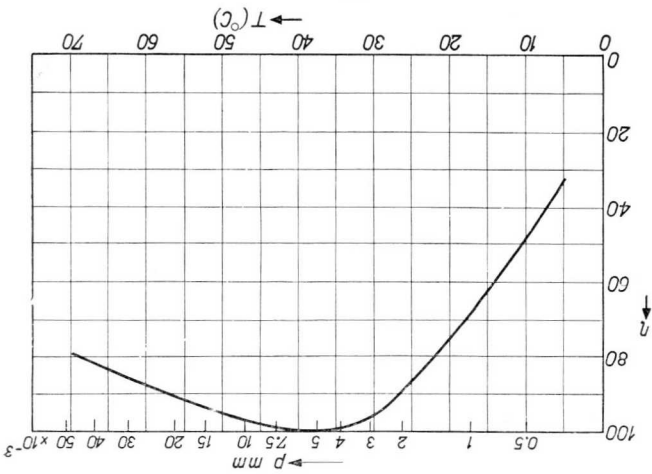


Fig. 48

Het rendement van de som van de straling van de gollengten 2537 Å en 1850 Å als functie van de kwikdampdruk. Op de bovenste schaal is de dampdruk uitgezet, op de onderste de temperatuur waarbij deze kwikdampdruk optreedt.

In fig. 50 hebben we het rendement als functie van de booglengthe l getekend voor een gradient van $\frac{2}{3}$ V/cm ($V_{ia} = V_0 + 0,75l$) en $V_0 = 15$ V (kromme 1), $V_0 = 25$ V (kromme 2) en $V_0 = 100$ V (kromme 3). Het rendement voor $l = \infty$ is gelijk 100 gesteld (voor $l = \infty$ is het rendement onafhankelijk van V_0). De krommen 1 en 2 gelden voor thermische emissie (en zodanige omstandigheden dat de gradient $0,75$ V/cm bedraagt), kromme 3 voor een buis met koude kathode. In dit laatste geval bereikt men pas een hoog rendement als l zeer groot is. Vandaar dat koude-kathodebuisen in het algemeen lang gemaakt worden. Koude-kathodebuisen worden meestal bedreven met kleinere stroomsterkte (bijv. 100 mA) in nauwere buizen (bijv. 25 mm \varnothing), wat een grotere gradient ten

belang, omdat het nuttig gebruikte deel van de boogspanning er van afhankelijk is van de spanning op de zuil. Alleen de laatste is van belang voor de lichtopwekking. De energie in anode- en kathodeval is verlies. Daar de som van anode- en kathodeval maat-hankelijk is van de zuillengte, en de spanning op de zuil evenredig is met de lengte van de zuil, zal het rendement toenemen met toenemende zuillengte. We kunnen de afhankelijkheid zelfs gemakkelijk berekenen. Is de totale lampspanning V_{ia} , en de som van anode- en kathodeval V_0 , dan zal onder overigens gegeven omstandigheden het rendement evenredig zijn met $(V_{ia} - V_0)/V_{ia}$.

Deze zijn voor het rendement van anode- en kathodeval

d. De buislengte en de som van kwikdampdruk op.

mater zeer groot is, een te lage straling gemiddeld een lange weg moet afleggen voor zij op de poederlaag valt. Onder praktische omstandigheden, waarbij de druk ook door de diameter wordt bepaald, treedt bovendien, als de buisdiameter de zelfabsorptie van de 2537 Å is, terwijl bij heel grote diameter meter de stroomdichtheid te groot bij grote stroom en kleine buisdiameter is ook te verwachten, omdat mate de stroomsterkte groter is.

— Het rendement als functie van de stroomsterkte bij de optimale kwikdampdruk. — — — Het rendement als functie van de stroomsterkte bij een door de stroomsterkte bepaald kwikdampdruk. Bij de stroomsterkte i_1 bereikt deze lamp de optimale druk.

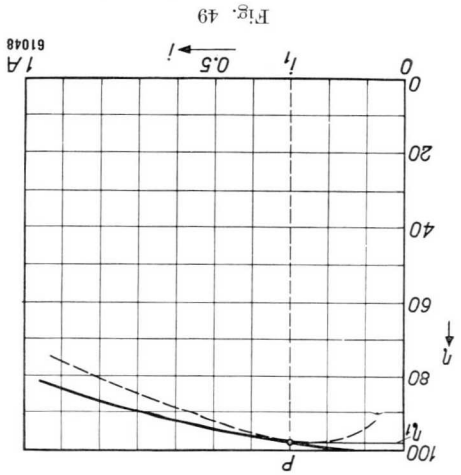


Fig. 49

A, Kr, Xe,

daardoor het rendement van de TL-lamp toe in de volgorde He, Ne, gehouden stroom, kwikdampdruk, buisdiameter en edelgasdruk neemt een atoom is des te kleiner naarmate het atoom zwaarder is. Bij gelijk De energieverdracht bij een elastische botsing van een electron met Invloed van het soort gas

levensduur van de buis te laag zou zijn. genoodzaakt zijn hogere edelgasdruk toe te passen, omdat anders de omdat deze optimale drukken zo laag zijn, dat we in de praktijk toch druk liggen. Metingen hierover zijn echter niet bekend. Dit komt zal het optimum bij een grotere vrije weglengte, dus bij een lagere diameter de wandverliezen worden bepaald. Bij grotere buisdiameter druk zal bovendien van de buisdiameter afhangen, daar door deze waarbij de som van wandverliezen en volumeverliezen minimaal is. Deze meverliezen dus groot. Er moet dus weer een optimale edelgasdruk zijn, in warmte omgezette energie belangrijk wordt. In dit geval zijn de vol- kleine hoeveelheid energie wordt overgedragen, de totale op deze wijze en edelgasatomen zo groot wordt dat, hoewel bij elke botsing slechts een zien, dat bij hoge edelgasdruk het aantal botsingen tussen electronen zijn dus bij te lage edelgasdruk zeer groot. Anderzijds hebben we al ge- Hg-atoom in aanraking te komen en dit aan te slaan. De wandverliezen met grote snelheid tegen de wand of de elektroden te botsen dan met een zijn (groter dan de buisdiameter). De electronen hebben dus meer kans kwikdamp in de buis, zal de vrije weglengte van de electronen zeer groot

edelgas en met alleen
 druk. Immers, zonder
 Ook hier is een optimale
 Invloed van de druk

1. $F = \frac{1}{3} V/cm$; anode-plus kathodeval = 15 V
 2. $F = \frac{2}{3} V/cm$; " " " " = 25 V
 3. $F = \frac{3}{3} V/cm$; " " " " = 100 V
 4. $F = 1\frac{1}{2} V/cm$; " " " " = 100 V

is gelijk 100 gesteld.

Het rendement als functie van de zuillengte. Het ren-
 dement in het geval dat de elektrodeverliezen nul zijn

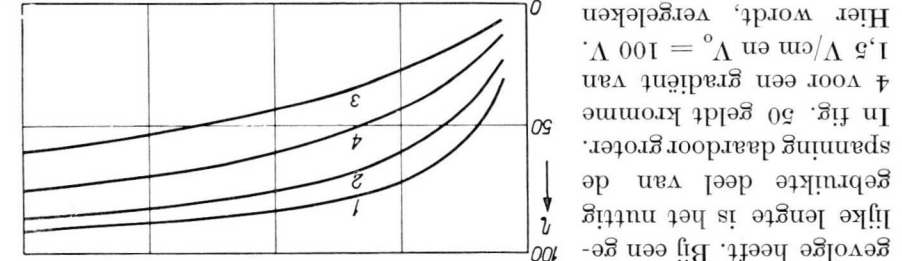


Fig. 50

gevolge heeft. Bij een ge-
 lijke lengte is het nuttig
 gebruikte deel van de
 spanning daarvoor groter.
 In fig. 50 geldt kromme
 4 voor een gradient van
 1,5 V/cm en $V_0 = 100$ V.
 Hier wordt, vergeleken
 met kromme 3, hetzelfde
 percentage reeds bereikt
 bij de halve lengte.

De stroomvorm door een bepaalde lamp hangt af van het voorschakel-apparaat en van het net. De drie grondvormen van het voorschakel-apparaat zijn: weerstand, zelfinductie en capaciteit. Bovendien kunnen allerlei listige combinaties worden gemaakt. Het net kunnen we in eerste instantie karakteriseren door z'n frequentie. In de praktijk hebben we hoofdzakelijk te maken met gelijkspanning, met 50 perioden wisselspanning (of dicht daarbij) of met belangrijk hogere frequenties, bijv. 400 perioden, verregen door omvormers, met het doel de voorschakel-apparaten kleiner en goedkoper te maken.

En capaciteit in serie met een TL-lamp geeft bij 50 perioden spanning een sterk vervormde stroom, waardoor de levensduur van de buis gaat vaar loopt en bovendien de stroomdichtheid momentaan groot is, waardoor de efficiëncy voor het opwekken van 2537 Å straling klein is. Weerstandsbegrenzing wordt, behalve bij gelijkspanning, nog weinig toegepast. Het rendement van de lamp bij gelijkstroom is iets (circa 5%) hoger dan bij wisselstroombedrijf met smoorpoelbegrenzing; het verlies in de weerstand is echter belangrijk. Verder hebben we bij gelijkstroombedrijf met lange buizen last van het verplaatsen van het kwik. Een gedeelte van de kwikdamp is immers geïoniseerd en de positieve Hg-ionen bewegen zich gemiddeld naar de kathode. Op de duur heeft dit een verarming van kwikdamp in de omgeving van de anode ten gevolge, zodat de productie van 2537 Å straling hier sterk afneemt en dit buisgedeelte veel minder licht gaat geven. Bij gelijkstroombedrijf moet de buis daarom zo nu en dan worden omgepoold. Hoe lang de buis zonder ompolen

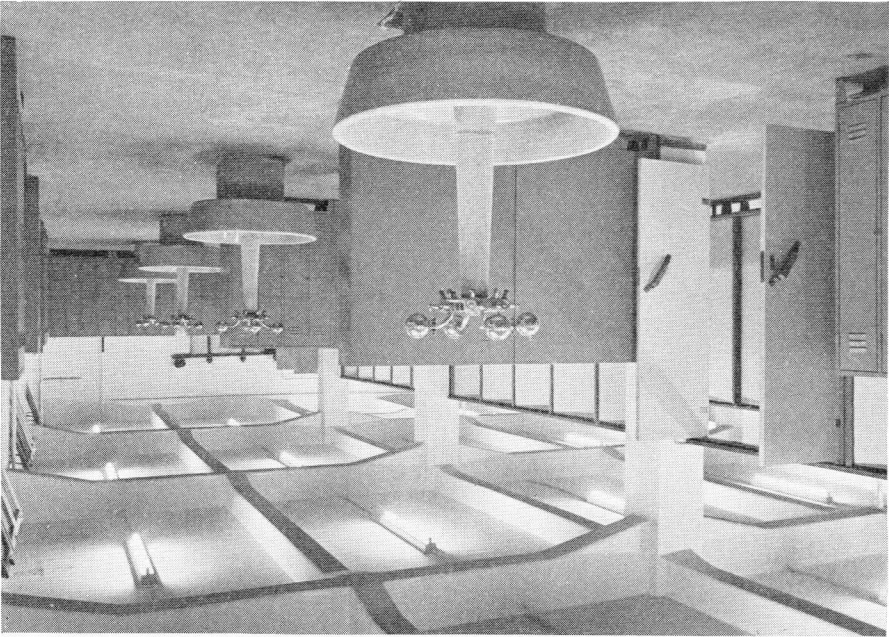
f. *Inloed van de stroomvorm*

In de praktijk wordt A het meest gebruikt. Dit is gemakkeijk verklaarbaar. He en Ne geven een kleiner rendement, een kleinere levensduur (door hogere kathodeval), en de gassen zijn duurder. Bovendien hebben TL-buizen met Ne als edelgas, enigszins rode uiteinden; blijft dus de vraag waarom buizen niet met Kr of Xe worden gemaakt. In sommige buizen wordt inderdaad Kr gebruikt. Xe is nog weer veel zeldzamer en daarom kostbaarder, en komt dan ook nauwelijks in aanmerking. In vele gevallen is de winst die men met veranging van A door Kr bereikt slechts klein. Bovendien is de ontsteking met Kr moeilijker en de boogspanning lager dan met A. Bij een lagere boogspanning zou men juist een lagere netspanning willen gebruiken, of, bij gebruik van dezelfde netspanning, de buis langer willen maken, wat weer verhoging van de ontsteekspanning met zich mee brengt. In sommige gevallen is bovendien een grotere buis lengte onwelkom. Vooralnóg is de toepassing van Kr in TL-buizen hierdoor zeer beperkt.

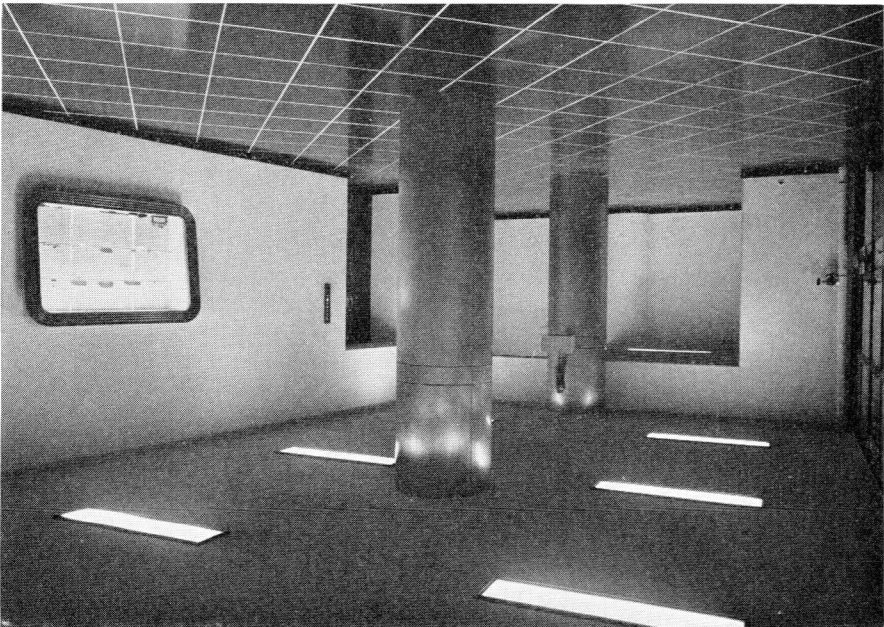
kan blijven branden, hangt af van vele factoren (de orde van grootte is § 3. HET RENDEMENT ALS FUNCTIE VAN EEN AANTAL PARAMETERS

10 uur).
Verhoging van de frequentie heeft over het algemeen een meer sinus-
vormige stroom en verhoging van het rendement ten gevolge. Vooral
indien alleen een capaciteit in serie wordt gebruikt, verbeteren de stroom-
vorm en het rendement belangrijk bij verhoging van de frequentie. Bij
400 perioden is de stroomvorm reeds zo veel verbeterd, dat het rendement
nog slechts enkele procenten lager ligt dan bij bedrijf met een smoor-
spoel in serie, terwijl ook de levensduur voldoende is geworden.

Waslokaal in een moderne fabriek. Buislampen TL-49 W op montagebalk tegen het plafond.



Entree van kantoorgebouw.
Twee buislampen TL-40 W per cassette in het plafond; afscherming met lichtroosters.



DRS. J. FUNKKE

LAMP-TYPEN

§ 1. LAAGSPANNINGS-FLUORESCENTIELAMPEN

Het aantal typen fluorescerende buislampen is sinds de opkomst van dit soort lampen voortdurend gegroeid. Hiervoor zijn verscheiden redenen aan te wijzen. Na het introduceren van de eerste lampen van betrekkelijk lage vermogens, ging de belangstelling uit naar grotere eenheden. Toen aan de desbetreffende wenssen was tegemoet gekomen, werden lampen voor speciale toepassingen gevraagd. Deze gang van zaken markeert de ontwikkeling van de fluorescentielampen in Amerika; in Europa beperkte men zich aanvankelijk tot een veel kleinere reeks en is men nauwelijks toe aan de speciale lampen.

In verband met het feit dat een gasontladingslamp wegens haar negatieve karakteristiek een voorschakelapparaat vereist, kan men voor een stabiel bedrijf haar brandspanning meestal niet veel hoger kiezen dan ca. 50% van de aangelegde spanning. Aangezien in de V.S. de normale netspanning 118 volt bedraagt, werden de eerste lamptypen daar ontwikkeld voor een brandspanning van ca. 60 volt. Dit waren lampen van 15 en 20 watt, met lengten van resp. 18 en 24 inch (ca. 45 en 60 cm). Voor toepassing op netten van 236 volt werden hieruit, door verdubbeling van de lengte, lampen van 36 en 48 inch, voor resp. 30 en 40 watt, afgeleid. Deze hebben een diameter van resp. 1 en $1\frac{1}{2}$ inch (25 en 38 mm). In Europa was, onafhankelijk van deze ontwikkeling, door Philips een lamp van 100 cm lengte voor een vermogen van 22,5 watt in productie genomen. Dit was de TL 100. Het getal 100 geeft hier de globale lichtstroom aan van 100 decalumen (1000 lumen)¹⁾.

Deze lamp had lampvoeten van andere constructie dan de in Amerika gangbare. In het belang van internationale standaardisatie en verwisselbaarheid, werden door Philips na de oorlog voor haar 40 W lamp de Amerikaanse maten en lampvoet genomen.

Deze lampvoet werd eveneens gebruikt op een nieuwe 25 W lamp, die als opvolger van de TL 100 is te beschouwen. Vervolgens werd de 20 W

¹⁾ Nadere bijzonderheden over deze lamp vindt men in P. J. Oranje: Gasontladingslampen, verschenen in Philips Technische Bibliotheek.

lamp aan het programma toegevoegd, evenals een 65 W lamp ter lengte van 1,50 m. De Philips serie omvat momenteel de lampen die met enkele karakteristieke grootheden zijn vermeld in onderstaande tabel:

Nom. lengte	Brand- spann.	Stroom	Lichtstroom		
			daglicht	wit	warmtint
TL 20 W 60 cm	60 V	0,38A	800 lm	850 lm	900 lm
TL 25 W 100 cm	100 V	0,29A	1200 lm	1250 lm	1300 lm
TL 40 W 120 cm	110 V	0,42A	1900 lm	2100 lm	2300 lm
TL 65 W 150 cm	115 V	0,66A	3200 lm	3200 lm	—

In de maatschets van fig. 51 zijn de afmetingen van deze lampen vermeld. In hoofdstuk III zijn de eigenschappen van de verschillende kleuren besproken. Ook vindt men daar bijzonderheden over de spectrale verdeling van het door de TL-lampen uitgestraalde licht.

In Engeland is de ontwikkeling geheel anders verlopen. Daar had men omstreeks 1939 een 80 W lamp van 1,50 m lengte en 38 mm diameter ontwikkeld. Door de oorlogsomstandigheden concentreerde men zich daar uitsluitend op dit type, dat ter wille van een snelle productie werd voorzien van twee normale bajonetlampvoeten. Nog steeds is deze lamp het meest populaire type in Engeland, hoewel in de jaren na de oorlog ook de meeste Amerikaanse lamptypen werden overgenomen. Behalve de tot dusver genoemde lamptypen, die alle in 1 of $1\frac{1}{2}$ " diameter gemaakt worden, bestond in Amerika nog een 100 W lamp, lang 1,50 m en met een diameter van $2\frac{1}{8}$ " (54 mm). Door gebruik van krypton als vulgas heeft men bij gelijk gebreven lichtstroom het wattaverbruik tot 85 watt gereduceerd. Wegens de lage brandspanning (ca. 60 volt) leent deze lamp

zich niet goed voor aansluiting op netten van 220 volt. Dit type wordt hoofdzakelijk gebruikt voor verlichting van grote fabrieksruimten. Voor speciale doel-

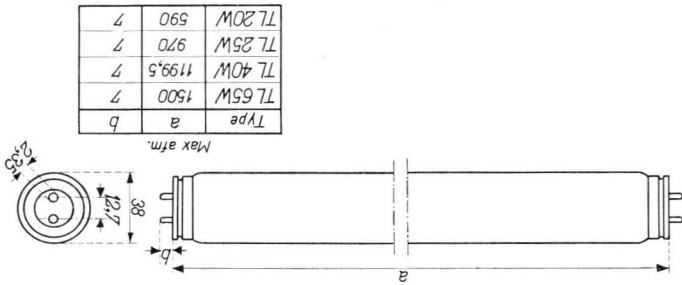


Fig. 51

Afmetingen van TL 20, 25, 40 en 65 W lampen.

Men zal zich afvragen welke de relatieve voor- en nadelen zijn van de TL, van de koude kathode- („KL.“) en van de „Slimline“ lampen, en voldoende electronenemissie mogelijk is bij kleine energieverliezen.

Beide typen hebben, doordat het op blz. 70 besproken voorverhitten van de electroden vervalt, het voordeel direct te ontsteken. Bij het „Slimline“ type worden de kathoden door de ontlading zodanig verhit, dat een naar het uiterlijk zijn zij ongeveer gelijk aan de lampen met koude

hoogspanningsaansluiting noemt men in Amerika „Slimline“ lampen; een aanzienlijke verbetering brengen. Lampen met oxydekathoden voor ten gevolge heeft. Door gebruik van oxydekathoden kan men hierin nadeel grote energieverliezen te veroorzaken, wat een laag rendement Zoals in hoofdstuk IV is uiteengezet, hebben de koude kathoden het geschakeld.

seerde lengten; deze lampen kunnen dan eventueel ook in serie worden Ook kunnen deze buizen worden uitgevoerd in bepaalde gestandaarddi- in een aantal secties, welk aantal afhangt van de beschikbare spanning. wel willekeurige vorm maken; zo nodig kunnen zij worden onderverdeeld reclamebuizen. Hiermee kan men lijnvormige lichtbronnen van vrij- koude kathoden, als worden gebruikt in de techniek van de neon- ook andere lamptypen in samenwerking. Hier toe behoren lampen met netspanningen. Indien men hogere spanningen wil gebruiken, komen van voorverwarme electroden, alle geschikt voor aansluiting op normale De tot dusver besproken lampen zijn, hoofdzakelijk dank zij het gebruik

§ 2. LAMPEN VOOR HOGE SPANNINGEN

Diameter	Buisdiameter	Brandspanning	Stroom	Lichtstroom
12"	1,2"	84 V	0,43A	1600 lm

karakteristieken zijn als volgt:
 Momenteel is daar in de handel een type van 32 watt, waarvan de In Amerika zullen deze lampen worden gemaakt in drie grootten. cirkelvorm, beter lenen voor gebruik in woonhuizen.

door de constructie van de z.g. Circline lampen, die zich, dank zij hun Fluorescentielampen een bezwaar. Hieraan is men tegemoet gekomen Voor sommige toepassingen is de langgerekte vorm van de normale vermogens en afmetingen ontwikkeld.

inden, o.a. voertuigverlichting, zijn nog een aantal lampen van kleine

welke van deze lampen in bepaalde gevallen is te verkiezen. De preferentie voor het ene of het andere type is geheel afhankelijk van de omstandigheden.

KL-lampen hebben als voordeel hun lange levensduur, de mogelijkheid de lichtstroom continu van 100% tot bijna 0%, of omgekeerd, te variëren (dimmen), en het feit dat zij onmiddellijk ontsteken; nadelen zijn hun betrekkelijk laag rendement en de speciale hoogspanningsinstallatie die zij vereisen.

Normale TL-lampen hebben een hoog rendement; de elektrische aanleg ervan stelt geen bijzondere eisen. Zij kunnen niet op eenvoudige wijze worden gedimd; het niet ogenblikkelijk starten is meestal geen bezwaar. KL-lampen komen in aanmerking voor gebruik op plaatsen waar de verlichtingsseenheden slecht zijn te bereiken en men dus zo weinig mogelijk mogelijkheden met de verwaaging wil hebben. Wegens de mogelijkheid van dimmen worden deze lampen o.a. in bioscooptheaters veel gebruikt. Voor de „Slimline” lamp gelden ongeveer dezelfde voor- en nadelen die de KL-lamp heeft: onmiddellijk starten, hoogspanningsaanleg. Echter, beperkte dim-mogelijkheid, kortere levensduur, maar daarentegen weer hoge efficiency.

Resumerend kunnen wij zeggen, dat voor de overgrote meerderheid van de gevallen, normale TL-lampen zijn te verkiezen. Afgezien van hun lager aanvaangsrendement, geraken KL-lampen tijdens hun levensduur bij TL-lampen ten achter. Immers, de lichtstroom van een KL-lamp heeft, over haar levensduur genomen, het verloop dat globaal in fig. 52 is weergegeven. Tevens is in deze figuur getekend het verloop van de lichtstroom van een aantal TL-lampen die gedurende dezelfde tijd branden. Men ziet dat, bij gelijke aanvaangswaarde, de gemiddelde lichtstroom tijdens de levensduur voor TL-lampen aanzienlijk hoger is dan voor KL-lampen.

Indien de KL-lamp op een slecht bereikbare plaats is aangebracht, treedt het hier gesignaleerde effect nog sterker op door vervuiling van de lamp en van het armatuur.

Op basis van hetzelfde beginsel als dat van de „Slimline” lamp, brengt

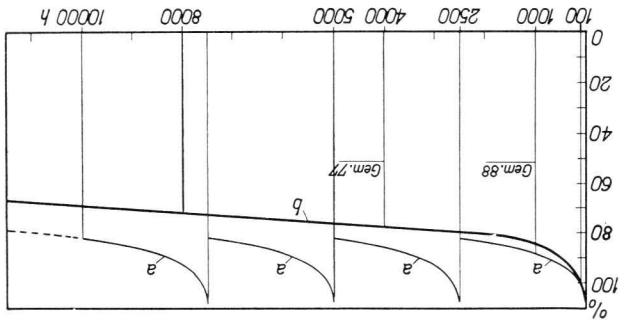


Fig. 52
Afmenging van de lichtstroom van TL-lampen (a) en van KL-lampen (b) tijdens de levensduur.

geringer. Om deze reden wordt dan ook onder nominale lichtstroom De lichtterugval is in de eerste 100 uur vrij sterk; daarna is hij veel fluorescerende poederlaag dringt.

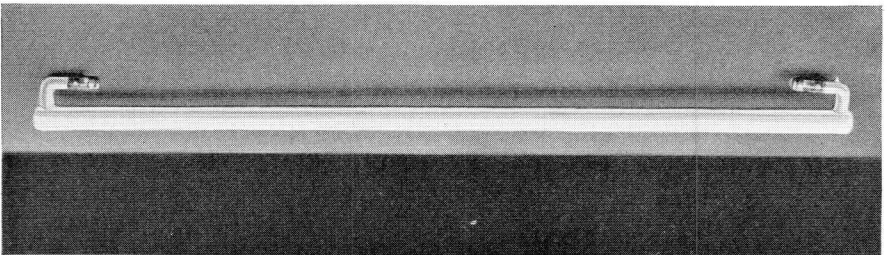
De lichtstroom van TL-lampen neemt tijdens de levensduur in beperkte mate af. Dit is een gevolg van het feit dat een aantal kwikatomen in de

§ 3. EIGENSCHAPPEN VAN TL-LAMPEN

grensd door een in de lampvoet ingebouwde weerstand. normale netspanningen worden aangesloten; de stroom wordt dan be- redelijke lichtopbrengst. Deze lamp kan zonder voorschakelapparaat op kleur van het licht bereikt men hier met zeer kleine energie nog een aan de binnenkant van de ballon licht te doen geven. Wegens de groene ontlading in argon voldoende UV-straling opgewekt om de poederlaag-geentelamp: de fluorescerende nachtlamp. Hier wordt door een glim- Volledigheidshalve vermelden wij hier nog een afwijkend type fluores- van kleur, stroomsterkte en diameter.

sterkten van 10, 25, 50 en 100 mA. De lichtstroom per meter hangt af verschillende diameters gemaakt (10, 13, 17 en 22 mm), voor stroom-argonvulling met kwik; andere hebben een neovulling. Zij worden in den. Sommige soorten van deze lampen zijn voorzien van een lage-druk heeft men het kleurengamma van deze buizen aanzienlijk kunnen uitbrei- schillende poeders, al of niet in combinatie met gekleurde glassoorten, aan die fluorescentie licht nitsralen. Door gebruik te maken van ver- Ook bij de z.g. reclamebuizen treft men tegenwoordig een aantal typen lampenwit. De lichtstroom bedraagt ca. 2000 lm bij een lengte van 2 m. fig. 53. De HL-lamp wordt in drie kleuren gemaakt: wit, warmwit en gloei- mogen dat zij opneemt bedraagt 40 watt. Men ziet deze lamp afgebeeld in een brandspanning van ca. 200 volt bij een stroom van 250 mA; het ver- bestemd is voor serie-schakeling op een hoogspanningstransformator, heeft Philips reeds sinds vele jaren de HL-lamp in de handel. Deze lamp, die

Philips HL-lamp.
Fig. 53



Deze starter is een extra onderdeel, dat de bedrading van een TL-in-elektroden bewerkstelligt en voor een ontsteekspanningsstoot zorgt.

Deze starter is een extra onderdeel, dat de bedrading van een TL-in-elektroden bewerkstelligt en voor een ontsteekspanningsstoot zorgt. Het ligt dus voor de hand dat naar middelen is ge-

§ 4. STARTERLOZE LAMPEN VOOR LAGE SPANNING (TL-S)

In het algemeen zal de ontwerper van gasontladingslampen er naar streven de ontsteekspanning zo laag mogelijk te maken. Hiertoe staan hem verschillende middelen ter beschikking: lage gasdruk, voorverhitte elektroden, hulp-elektroden enz. Bij de TL-lampen beperkt zich de hulp-elektrode tot de z.g. ontsteekstrip op de buitenwand van de buis, en wordt de eigenlijke ontsteking bewerkt door de starter, die voorverhitting van de trode tot de z.g. ontsteekstrip op de buitenwand van de buis, en wordt de

De lichtstroom van TL-lampen is vrij sterk afhankelijk van de omgevingsstemperatuur. In fig. 48 op pag. 85 is deze afhankelijkheid weer-gegeven. Hieruit volgt dat men lage temperaturen moet vermijden, evenals zeer hoge. Deze laatste kunnen voorkomen als men vele lampen in een klein armatuur plaatst. De armaturenconstructeur zal met deze omstandigheden rekening moeten houden.

Lage temperaturen bemoeilijken ook het ontsteken van de lamp, doch in het algemeen zal men hiervan bij normale spanningen geen last ondervinden als de omgevingsstemperatuur meer dan ca. 5 °C bedraagt. De invloed van netspanningsvariaties op de eigenschappen van TL-lampen hangt sterk af van het gebruikte voorschakelapparaat. In hoofdstuk IX worden enkele z.g. spinnekopdiagrammen gegeven, die lichtstroom, opgenomen vermogen enz. als functie van de netspanning geven.

Tijdens de levensduur ziet men aan de lampenden enige zwarting ontstaan. Dit is een gevolg van het verstuiven van het materiaal van de elektroden. Het einde van de levensduur wordt meestal bereikt door dat de lamp weigert te ontsteken wegens uitputting van het emittermateriaal. Ook kan, ten gevolge van deze uitputting, de kathode door smelten, doordat ze plaatseelijk te hoog wordt verhit.

Ten einde het ontsteken van de lampen onder moeilijke omstandigheden te vergemakkelijken, bijv. bij grote vochtigheid, is er een z.g. ontsteekstrip op aangebracht. Dit is een smalle geleidende metaallaag, die een voor het ontsteken gunstige veldverdeling bevordert.

Soms kan het voorkomen dat een TL-lamp onrustig gaat branden: de ontlading snoert zich samen en beschrijft een spiraalvormige baan. Dit verschijnsel kan gewoonlijk worden opgeheven door de lamp enkele malen uit en in te schakelen.

De lichtstroom van TL-lampen is vrij sterk afhankelijk van de omgevingsstemperatuur. In fig. 48 op pag. 85 is deze afhankelijkheid weer-gegeven. Hieruit volgt dat men lage temperaturen moet vermijden, evenals zeer hoge. Deze laatste kunnen voorkomen als men vele lampen in een klein armatuur plaatst. De armaturenconstructeur zal met deze omstandigheden rekening moeten houden.

Tijdens de levensduur ziet men aan de lampenden enige zwarting ontstaan. Dit is een gevolg van het verstuiven van het materiaal van de elektroden. Het einde van de levensduur wordt meestal bereikt door dat de lamp weigert te ontsteken wegens uitputting van het emittermateriaal. Ook kan, ten gevolge van deze uitputting, de kathode door smelten, doordat ze plaatseelijk te hoog wordt verhit.

zocht om deze starter overbodig te maken. Dit blijkt mogelijk te zijn door gebruik te maken van een inwendige ontsteekstrip die aan één einde is verbonden met de naburige elektrode. Bij inschakelen van de spanning ontstaat nu in de lamp een glimontlading tussen het vrije einde van deze strip en de andere elektrode, welke glimontlading voldoende ionen in de lamp produceert om de ontlading tussen de hoofdelektroden mogelijk te maken. Doordat de weerstand van de strip voldoende hoog is gekozen, vloeit er vrijwel geen stroom door de strip en neemt deze slechts een gering vermogen op. De invloed van deze „stripverliezen” kunnen wij stellen op ongeveer 5 - 10% van het totale verbruik van de lamp.

Lampen, gemaakt volgens bovenstaand principe, worden TL-S lampen genoemd. Deze lampen kunnen branden op een smoorspoel of op een voorgeschakelde weerstand, die eventueel een gloeilamp kan zijn. In het laatste geval verloopt de ontsteking het snelst, zodat men hier van een direct ontstekende lamp kan spreken.

Voor algemene verlichtingsdoelinden wordt de TL-S 40 W gemaakt. Deze ontsteekt met voorgeschakelde gloeilamp nog vlot op 200 volt wisselstroom; bij gebruik van een smoorspoel is betrouwbare ontsteking alleen te verwachten indien de netspanning minstens 220 volt bedraagt.

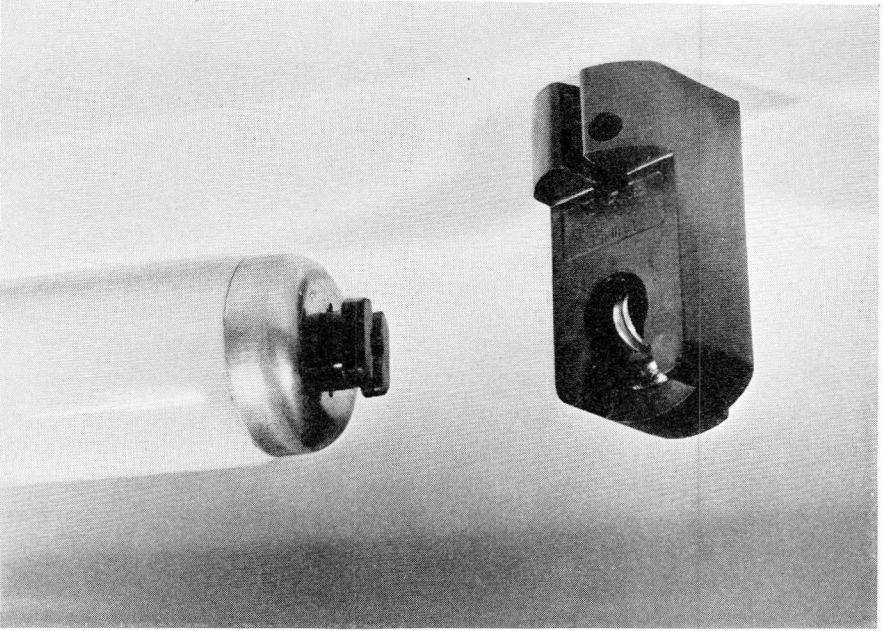


Fig. 54

Lampvoet en lamphouder van de TL-S-lamp.

Behalve het voordeel van direct ontsteken, is aan het weglaten van de starter nog een ander voordeel verbonden. De starter kan namelijk in een explosiegevaarlijke omgeving (chemische industrie, steenkolenmijnen) het gebruik van normale TL-lampen ontoelaatbaar maken. Indien bij een gebroken lamp, waarvan de kathoden nog intact zijn, wordt in-geschakeld, kunnen deze door het sluiten van de starter gaan gloeien en een explosief gasmengsel tot ontloffing brengen.

Speciaal voor gebruik in steenkolenmijnen is nu een 20 W TL-S-lamp ontwikkeld. Aangezien men hier betrekkelijk vrij is in de keuze van de voedingsspanning, kan deze zo hoog worden genomen (160 - 180 volt), dat omiddellijk ontsteken is gewaarborgd. Bovendien kan de lamp direct na uitschakelen herontsteken, wat van belang is voor het geven van lichtsignalen met deze lampen.

Het feit dat de inwendige strip met een van de elektroden is verbonden, maakt het gebruik van een speciale lampvoet gewenst. Indien slechts een van de lampvoeten in een lamphouder wordt geplaatst, bestaat de mogelijkheid dat men bij aanraken van de andere lampvoet met de netspanning in contact komt, doordat nu de stroomkring via de lamp kan worden gesloten. Om deze mogelijkheid uit te sluiten is een speciale lampvoet met bijbehorende lamphouder geconstrueerd (zie fig. 54).

De afmetingen van de TL-S-lamp zijn zodanig gekozen, dat de totale lengte van de gemonteerde lamp met bijbehorende houders gelijk is aan die van een normale TL 40 W lamp met houders. In de lamphouder bevindt zich een draaibaar contact, dat in de afgebeelde stand geen spanning kan voeren. Dit is pas mogelijk na inzetten en draaien van de TL-S-lamp.

De lichtstroom van de TL-S 40 W bedraagt ca. 2000 lm. De lampen worden gemaakt in de warmtint of witte kleur, omdat deze een goede menging met het licht van de voorgeschakelde gloeilampen mogelijk maakt.

Drs. J. FUNK

STARTERS

§ 1. INLEIDING

Enkele speciale schakelingen en het TL-S-type buiten beschouwing gelaten, kunnen wij zeggen dat bij elke TL-lamp een starter behoort die het mogelijk maakt de electroden te verhitten en de lamp te ontsteken. Onderscheiden naar de methode volgens welke de startercontacten worden bediend, treffen wij de volgende hoofdtypen aan:

handstarters;

glimlichtstarters;

gloeiraadstarters;

magnetische starters.

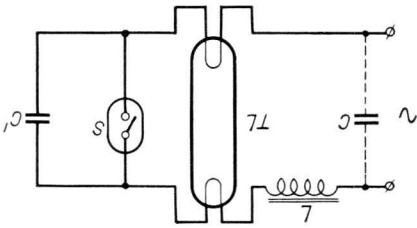
De algemene schakeling van de starter is weergegeven in fig. 55. Indien de contacten in de starter zijn gesloten, vloeit er een stroom door de kathoden van de lamp, die hierdoor worden verhit. Gaan de contacten open, dan ontstaat er een plotselinge spanningverhoging aan de klemmen van de smoorspoel. Deze spanningsschok plant zich voort, komt aan de lampelectroden te staan en is nu in staat de lamp te ontsteken. Indien de lamp echter niet bij de eerste poging ontsteekt, moet de starter opnieuw functionneren. Bij de meeste typen geschiedt dit automatisch, tot de lamp ontsteekt.

De meest voorkomende uitvoeringsvorm van de tegenwoordige starters is die in een metalen busje met 2 contacten. Deze vorm veroorlooft eenvoudige verwisseling als een starter defect is geraakt. Alle Philips starters worden gemaakt in deze uitvoering, die ook in Amerika gestandaardiseerd is.

Ter onderdrukking van radiostralingen die door de TL-lamp kunnen worden veroorzaakt, is meestal een ontstoringcondensator in de starter

Principeschema voor de aansluiting van een TL-lamp. De lamp is aangesloten via een smoorspoel L, S is de starter met een ontstoringcondensator C'. C is een eventuele condensator ter verbetering van de arbeidsfactor.

Fig. 55



opgenomen. Deze kleine condensator staat parallel over de lamp en vormt dus als het ware een kortsluiting voor de hoogfrequentie trillingen die in de TL-lamp worden opgewekt. Bovendien bevordert hij in sommige gevallen het ontsteken, doordat de spanningsstoot van de schakelaar hoger opslingerf.

§ 2. BESCHRIJVING VAN DE VERSCHILLENDE TYPEN

Wij zullen nu de werking van de verschillende typen starters nagaan.

1. *Handstarters*

Dit zijn in principe normale schakelaars, die goede verbreek-eigenschappen moeten hebben. Door een draai- of drukbeweging worden de contacten gesloten. Gedurende 1 à 2 seconden blijven zij dicht, om de kathoden de gelegenheid te geven op voldoende hoge temperatuur te komen, daarna gaan zij weer open; zij kunnen niet ongewild weer dicht gaan. Deze starters worden niet door Philips gefabriceerd.

2. *Glimlichtstarters* (zie fig. 56)

Deze bestaan uit een met edelgas gevuld buisje waarin zich twee elektroden bevinden, waarvan één bestaat uit een strookje bimetaal. Dit is samengesteld uit twee dunne lagen metaal met sterk verschillende uitzettingscoëfficiënt, en heeft de eigenschap zich onder invloed van warmte te buigen. Indien nu spanning wordt aangelegd, ontstaat een glimontlading in het edelgas; ten gevolge van de hieraan verbonden warmteontwikkeling buigt het bimetaal zich en sluit het contact. Dan verdwijnt echter de glimontlading, het bimetaal koelt af, het contact wordt verbroken en de lamp ontsteekt. De glimlichtstarter nu moet zodanig zijn geconstrueerd, dat het contact niet weer kan sluiten onder invloed van de brandspanning van de lamp. De z.g. sluitspanning van de starter moet dus tussen twee grenzen liggen; zij moet groter zijn dan de maximaal optredende brandspanning van

de lamp, en kleiner dan de laagste netspanning waarbij men nog ontsteken van de lamp eist. In verband met het verschil in bedrijfsspanning tussen de lampen van 20 watt enerzijds en die van 25, 40 en 65 watt anderzijds, zijn twee groe-

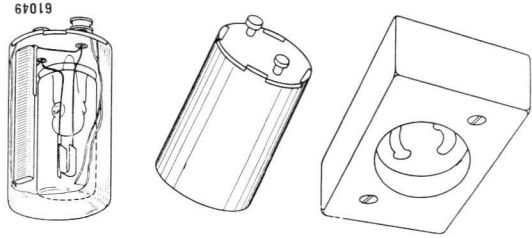


Fig. 56

De glimlichtstarter met bijbehorende houder.

Momenteel zijn dit de volgende typen:

S 1, voor TL 25 en 40 W,

S 2, voor TL 20 W,

S 5, voor TL 65 W.

3. Gloeidraadstarters

In tegenstelling tot de hand- en glimlichtstarters, die in de beginstand open zijn, is de gloeidraadstarter in de beginstand gesloten (zie fig. 57). Ook hier wordt het contact door een bimetalen strookje gemaakt en verbroken. Bij inschakelen van de stroom doorloopt deze de kathoden van de lamp en het verhittingsdraadje G in de starter. Dit verwarmt het bimetalen strookje, dat wegbuigt en dus het contact opent. Na ontsteken van de lamp vloeit de lampstroom door G, en de hierdoor ontwikkelde warmte is voldoende om het contact open te houden. Een nadeel van deze starter is, dat hij na uitschakeling niet direct weer voor gebruik gereed is. Door thermische traagheid duurt het namelijk enige tijd voor de contacten weer gesloten zijn. Ook het wattverbruik van de gloeidraad tijdens het branden van de lamp is een zeker nadeel.

Dit type starter heeft zeer goede ontsteekeigenschappen; toch is het niet zeer populair geworden. Dit is o.a. toe te schrijven aan de noodzaak 4 aansluitingen te moeten gebruiken, hetgeen de bedrading van een installatie compliceert.

De goede ontsteekqualiteiten van deze starter moeten worden toegeschreven aan het feit dat de stroom zeer abrupt wordt verbroken. Bij een glimlichtstarter veroorzaakt de gasvulling van de starter zelf steeds een zeker energieverlies, waardoor de spanningspiek minder effectief is. Gloeidraadstarters worden niet door Philips geproduceerd.

4. Magnetische starters

Deze kunnen door stroom (fig. 58) of door spanning (fig. 59) worden bekrachtigd. In het eerste geval is de starter in de beginstand gesloten; door de stroomdoorgang door het spoeltje wordt het anker aange trokken en het contact verbroken en gesloten onder invloed van het wisselende magneetveld. Zodra de lamp ontstoken is, vloeit de bedrijfsstroom door het spoeltje. De

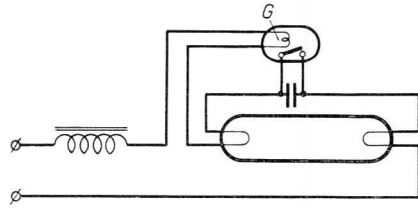


Fig. 57

Schakeling van de gloeidraadstarter.

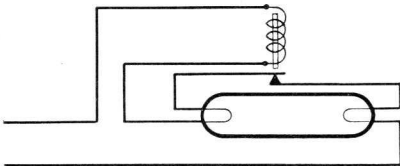


Fig. 58

Schakeling van de magnetische starter met stroombekrachtiging.

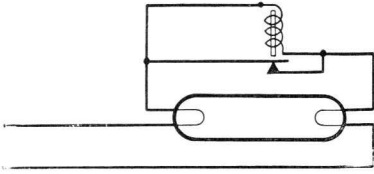


Fig. 59

Schakeling van de magnetische starter met spanningsbekrachtiging.

aantrekking is nu voldoende groot om te voorkomen dat het contact weer wordt gesloten.

In het tweede geval is het contact in de beginstand open. Bij aanleggen van de netspanning wordt het gesloten en verbroken onder invloed van het magneteveld. Na ontsteken van de lamp is de brandspanning niet in staat het

contact opnieuw te doen sluiten.

Vele constructies zijn uitgewerkt voor dit soort starters; door Philips is een type ontwikkeld dat door spanning wordt bekrachtigd. Hierbij is de constructie zodanig gemaakt, dat de lamp vrijwel ogenblikkelijk ontsteekt. Het startercontact wordt verbroken synchroon met de netfrequentie, hetgeen tot gevolg heeft dat een zeer hoge stroom door de gloeielectroden van de lamp vloeit. Na ca. 0,2 sec zijn deze zover verwarmd, dat de lamp kan ontsteken op de zeer hoge spanningspiek die de starter veroorzaakt ¹⁾.

§ 3. SCHILDWACHTSTARTERS

Door het feit dat de meeste starters automatisch werken, kan het voorkomen dat zij blijven trachten een defecte lamp te ontsteken. Indien de kathoden nog intact zijn, maar de lamp om de een of andere reden niet ontsteken wil, bijv. wegens emitterverlies van de kathode, blijft de starter voortdurend schakelen, en de lamp kan daarbij steeds een lichtflits vertonen. Dit laatste is zeer hinderlijk, en het continu schakelen is nadelig voor de levensduur van de starter. Om deze effecten te vermijden, kan men een z.g. schildwacht in de starter aanbrengen.

Deze werkt als volgt (zie fig. 60): De verwarmingsstroom doorloopt een weerstandje *W* in de starter, als de contacten zijn gesloten. Hierdoor wordt een bimetalen strookje *B* verwarmd; dit buigt weg en laat een contactveer los die de stroom verbreekt. Door indrukken van het

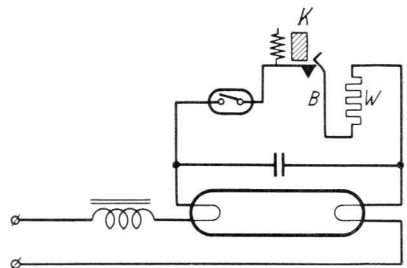


Fig. 60

Schakeling van de schildwachtstarter.

B = bimetalen strookje

W = verwarmingsweerstand

K = drukknop

¹⁾ Een uitvoerige beschrijving van deze starter treft men aan in Philips Technisch Tijdschrift 10, 143, 1948.

knopje K kan men de veer weer op haar plaats brengen achter het nokje op de bimetalen strook, wanneer deze weer in haar oude stand is teruggekeerd. Na vervanging van de defecte lamp door een goede, en indrukken van het knopje, is de installatie dus weer bedrijfsklaar. Philips maakt een dergelijke starter met schildwacht voor 40W lampen (type W1).

Het is mogelijk de werking van de schildwacht volkomen automatisch te maken, hetgeen op vele manieren uitvoerbaar is. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven door een schakeling als is afgebeeld in fig. 61.

De kortsluitstroom doorloopt hier een weerstand W , die het bimetalen strookje B verwarmt. Dit verbreekt door wegbuigen een contact dat in serie staat met de glimlichtstarter S. Na opengaan van dit contact, staat nu de netspanning op de grote weerstand W_1 , die door warmteontwikkeling het contact open houdt. Wordt de lamp spanningloos gemaakt, dan wordt automatisch de aanvangstoestand hersteld. Bij opnieuw inschakelen herhaalt zich het spel.

Tijdens normaal bedrijf is de warmteontwikkeling in W_1 (ten gevolge van de brandspanning van de lamp) niet voldoende om het contact B open te houden.

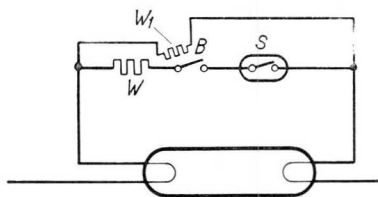


Fig. 61

Principeschema van de automatische schildwachtstarter.



Buislampen TL-40 W
in gepolijst metalen reflectoren in etalage voor damesmode-artikelen.

DRS. J. FUNKE

SCHAKELINGEN

§ 1. INLEIDING

De schakelingen voor fluorescentielampen moeten aan ten minste twee eisen voldoen:

- 1) de lamp moet kunnen ontsteken;
- 2) de lamp moet er stabiel op kunnen branden.

Bovendien kunnen door een geschikt gekozen schakeling bepaalde effecten worden bereikt, bijv. ontsteking direct na inschakelen, onderdrukking van lichtrimpel, verbetering van de arbeidsfactor. Interessante mogelijkheden doen zich voor indien hogere frequenties dan de normale 50 Hz ter beschikking staan. Ook bij voeding met gelijkstroom moeten speciale maatregelen worden getroffen.

Wij zullen achtereenvolgens enkele van de meest voorkomende schakelingen behandelen.

§ 2. WISSELSTROOMVOEDING

De meest gebruikelijke schakeling is die met smoorspoel (zie fig. 55). De smoorspoel is zodanig gedimensionneerd, dat de juiste verwarmingsstroom en de juiste bedrijfsstroom vloeien. Welke gevolgen dit voor het ontwerp van de smoorspoel heeft wordt uitvoerig behandeld in hoofdstuk X. Door gebruik van een compensatiecondensator kan de arbeidsfactor worden verbeterd (zie de gestippelde verbindingen in de figuur). Ter toelichting diene het volgende:

In het circuit lamp-smoorspoel kunnen wij de lamp in eerste benadering als een ohmse weerstand beschouwen. Hierin zijn stroom en spanning dus in fase; in de smoorspoel hebben zij een faseverschil van 90° . Zoals in het vectordiagram van fig. 62 is te zien, heeft de lampstroom een faseverschuiving φ' ten opzichte van de netspanning. De stroom door de compensatiecondensator (I_c) is 90° ten opzichte van de netspanning verschoven, zoals in de figuur is aangegeven. De stromen I_{la} en I_c worden nu samengesteld tot de netstroom, die slechts een kleine verschuiving φ met de netspanning heeft. De grootte van φ hangt af van de capaciteit van de condensator C , zoals is weergegeven in

fig. 63 waar een z.g. compensatiekromme van een TL 40 W lamp met smoorspoel is getekend. Tevens is hierin gegeven het verloop van de netstroom als functie van de capaciteit. Men ziet dat het minimum van de netstroom optreedt bij vrijwel dezelfde waarde van C als waarbij $\cos \varphi$ maximaal is.

Dit maximum is meestal 0,95 - 0,98, dus niet 1, zoals men misschien zou verwachten. De stroom door de lamp is nl. niet zuiver sinusvormig, maar bevat een zeker percentage hogere harmonischen (3e, 5e enz.). Deze worden door C niet op de juiste wijze gecompenseerd, zodat volledige compensatie hier onbereikbaar is. Soms is het mogelijk een aantal lampen gezamenlijk centraal te compenseren (groepscompensatie). Hierbij kan men met één condensator ter grootte van $n \times$ de individuele condensatoren, n lampen, die door dezelfde netschakelaar worden bediend, compenseren.

De hier gegeven eenvoudige methode van compensatie is echter niet overal toegestaan. In het laatste decennium maakt men bij distributie van elektrische energie in toenemende mate gebruik van signalering via het laagspanningsnet. Hiertoe worden op het net spanningen gesuperponeerd met frequenties van 300 - 1000 Hz, waarmee relais bekrachtigd worden die dan bepaalde schakelbewegingen uitvoeren. Deze audiofrequente spanningen ondervinden nu van parallelcondensatoren slechts een geringe weerstand, met het gevolg dat aan het net veel van hun energie wordt onttrokken. Men kan dit

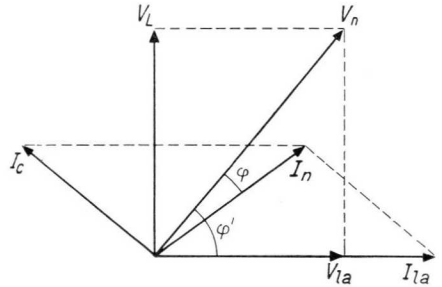


Fig. 62

Vectordiagram voor een TL-lamp in smoorspoelschakeling.

V_{la} = brandspanning, I_{la} = lampstroom,
 I_c = stroom door de compensatiecondensator, V_L = spanning op de smoorspoel,
 V_n = netspanning, I_n = netstroom

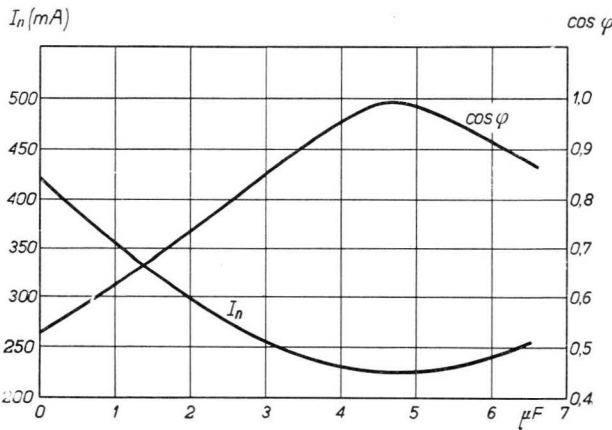


Fig. 63

Compensatiekromme voor een TL 40 W lamp in smoorspoelschakeling op 225 volt.

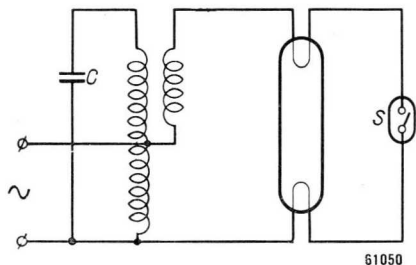


Fig. 64

Schakeling van een spaarlektransformator met compensatiewikkeling.

voorkomen door in serie met de compensatiecondensator een geschikt gekozen smoorspoeltje op te nemen, dat wel de netfrequentie doorlaat, echter niet de signaalfrequenties. De hieronder (§ 4) te bespreken duoschakeling vertoont dit bezwaar niet.

§ 3. SCHAKELINGEN VOOR 110 - 125 V NETTEN

In de gevallen dat de beschikbare netspanning niet voldoende hoog is om de lamp te bedienen, moet men de spanning verhogen door transformatie. Hierbij kan men de spanning opvoeren tot 220 volt en dan de normale smoorspoelschakeling toepassen. Een goedkopere oplossing vormt vaak het gebruik van een z.g. spaarlektransformator die de eigenschappen van een transformator en die van een smoorspoel combineert. Wil men hier compenseren, dan is het voordelig dit te doen via een extra secundaire wikkeling op de transformator (zie fig. 64). Door deze wikkeling ook voor 220 volt te ontwerpen, kan de condensator $4 \times$ zo klein zijn als bij compensatie op de primaire wikkeling. Immers, de primaire stroom is tweemaal zo groot als de secundaire; bovendien is de spanning de helft van de secundaire, zodat, om een voldoende compensatiestroom door te laten, primair een $4 \times$ zo grote condensator nodig zou zijn als secundair.

§ 4. DUOSCHAKELING

Een andere wijze waarop een goede arbeidsfactor bereikt kan worden, is het gebruik van de z.g. duo- of tweelampsschakeling, die in Amerika met de naam „Tulamp” schakeling wordt aangeduid. Hier wordt met een smoorspoelcircuit (inductief) een capacitief circuit gecombineerd, zoals weergegeven in fig. 65. De condensator C is zodanig gekozen dat door de lamp in bedrijf de juiste stroom vloeit. L_2 is de startspoel die alleen tijdens het voorverwarmen van de elektroden gebruikt wordt om een voldoende hoge verwarmingsstroom van de elektroden te ver-

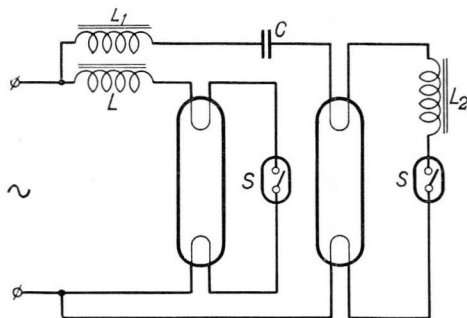


Fig. 65

Duoschakeling, bestaande uit een inductieve en een capacitieve tak.

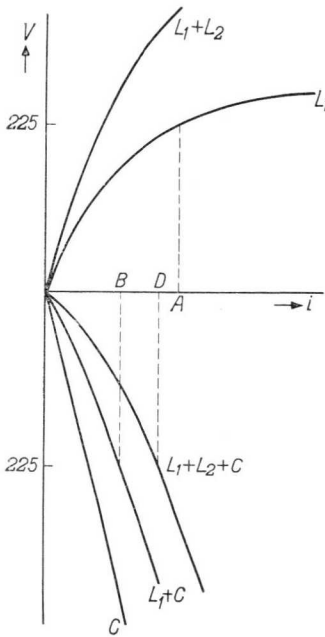


Fig. 66

Verloop van de spanning als functie van de stroom aan de onderdelen van een capacitief voorschakel-apparaat met startspoel.

krijgen. De noodzaak van L_2 kan verklaard worden aan de hand van fig. 66. Hierin stelt kromme L_1 het verloop van de spanning aan de smoorspoel L_1 voor als functie van de stroom; punt A geeft de kortsluitstroom aan bij 225 volt. De spanning aan de condensator, die in tegenfase is met die aan de smoorspoel, is naar beneden uitgezet: kromme C . De spanning aan smoorspoel plus condensator is gegeven door kromme $L_1 + C$. Bij 225 volt vloeit nu een kortsluitstroom, overeenkomend met punt B , hetgeen te weinig is. Schakelen we nu smoorspoel L_2 in serie met smoorspoel L_1 en C , dan vinden we op analoge wijze, voor de combinatie $L_1 + L_2 + C$, bij 225 volt een stroom behorend bij D ,

die een redelijke waarde heeft. In de smoorspoeltak ijlt de stroom na bij de netspanning; in de capacitieve tak ijlt hij evenveel voor op de spanning, en de netstroom is met deze in fase. Hier is $\cos \varphi$ dus ongeveer gelijk 1.

Een tweede voordeel is de sterke vermindering van de lichtrimpel, doordat ook de lichtemissie van beide lampen een fazeverschil vertoont (zie de oscillogrammen in fig. 67). De relatieve diepte van de lichtrimpel in het totale licht is ongeveer de helft van die bij de individuele lampen.

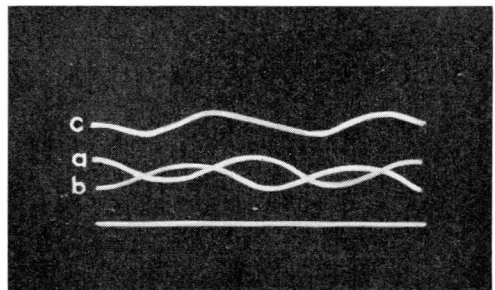
§ 5. SCHAKELINGEN VOOR DRIE LAMPEN

Ook door toepassing van de z.g. driefazenschakeling is een zeer kleine rimpel te bereiken.

Fig. 67

Oscillogrammen van de lichtstroom van TL-lampen:

- brandend op een smoorspoel;
- brandend op een capacitief apparaat;
- 2 lampen, brandend op een duo-apparaat.



Hierbij wordt telkens op elk van de drie fazen van een draaistroomnet een lamp aangesloten, zodat de lichtrimpels van drie lampen elkaar groten-deels opheffen (zie fig. 68). Bij deze schakeling wordt uiteraard geen $\cos \varphi$ -verbete-ring verkregen.

Een economische drielampschakeling wordt bereikt door combinatie van één voor-ijlende tak met twee ongecom-penseerde smoorspoeltakken. Hierbij kan men nog een $\cos \varphi$ van ruim 0,8 bereiken, met een gedeeltelijke vermindering van de lichtrimpel.

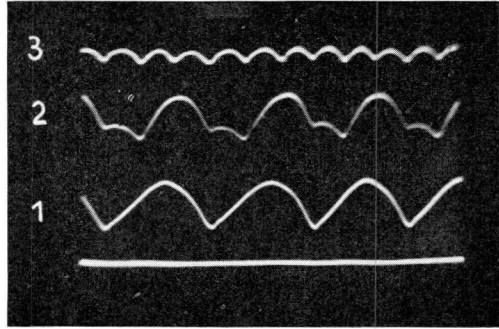


Fig. 68

Oscillogram van de lichtstroom van resp. 1, 2 en 3 TL-lampen, ieder aangesloten op een andere faze van een driefazig net.

§ 6. SERIESCHAKELING

Voor 20 W lampen, met een brandspanning van 60 volt, bestaat de mogelijkheid serieschakeling op 225 volt toe te passen (zie fig. 69). De gebruikte starters zijn van het 110 V type. Na inschakeling gaan beide starters functioneren en komt er een moment waarop beide zijn gesloten. Zodra één starter opengaat, ontsteekt de bijbehorende lamp, daarna gaat de tweede starter open en ontsteekt ook de andere lamp. Deze serieschakeling kan zowel op een smoorspoel als op een capaciteif apparaat worden toegepast.

§ 7. SCHAKELINGEN VOOR ONMIDDELLIJK ONTSTEKEN

Bij de tot dusver behandelde schakelingen werd steeds gebruik ge-maakt van een starter die tevens het voorverhitten van de electroden mogelijk maakte. Dit kost steeds enkele seconden; bij glimlicht-

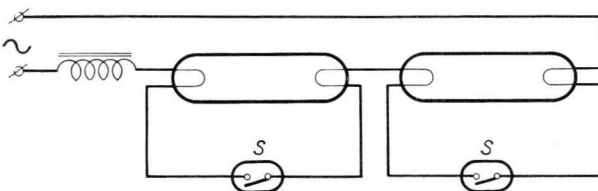


Fig. 69

Serieschakeling van twee TL-lampen.

starters komt hier nog bij de tijd die nodig is om de startercontacten door de warmteontwikkeling van de glimontlading te sluiten.

Voor bepaalde toe-passingen is deze

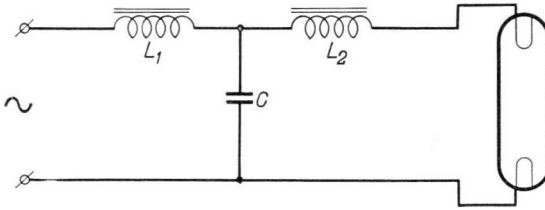


Fig. 70

Steinmetz schakeling.

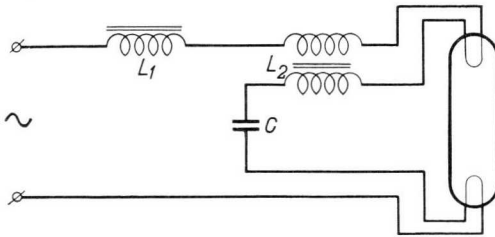


Fig. 71

Variant op de Steinmetz schakeling die voorverhitting van de electroden mogelijk maakt.

wachttijd een bezwaar; men heeft dus gezocht naar mogelijkheden om de lampen onmiddellijk te ontsteken. Het meest voor de hand liggende hulpmiddel is hier het verhogen van de aangelegde spanning, hetgeen door transformatie of met een resonantieschakeling kan gebeuren. In sommige gevallen zal men hier tevens speciaal geconstrueerde lampen bij moeten gebruiken, die zijn voorzien van electroden die deze wijze van ontsteken kunnen verdragen.

De bekendste resonantieschakeling is die volgens Steinmetz (zie fig. 70). Bij inschakelen ontstaat aan C een hoge spanning, doordat de kring L_1C ongeveer in resonantie is met de netfrequentie. Deze hoge spanning doet de lamp ontsteken, waarbij de smoorspoel L_2 de ontladestroom van de condensator begrenst.

Bij deze schakeling kan men een arbeidsfactor 1 bereiken bij geschikte keuze van L_1 , L_2 en C .

Voor normale TL-lampen is deze wijze van ontsteken echter minder geschikt en moet men een hulpmiddel te baat nemen om de electroden te kunnen voorverhitten. Dit is bereikt door L_2 uit te voeren als een smoorspoel met twee tegengesteld gewonden wikkelingen (zie fig. 71). Bij inschakelen doorloopt de resonantiestroom nu de electroden, die zeer snel verhit worden, waarna de lamp op de hoge resonantiespanning ontsteekt. Vóór ontsteken heffen de zelfinducties van de beide helften van L_2 elkaar op; na ontsteken worden beide helften doorlopen door in fase en grootte verschillende stromen, zodat er wel een zelfinductie van L_2 overblijft. Het ontsteken op deze schakeling gebeurt binnen enkele tienden seconde. Voor de lamp TL 100 is indertijd een voorschakelapparaat volgens deze schakeling in de handel gebracht. De extra smoorspoel en condensator maken dit apparaat echter voor de grotere lamptypen te omvangrijk en te duur. Extra volume en hogere prijs moet men vrijwel steeds op de koop toe nemen als men onmiddellijk ontsteken eist. Dit is ook het geval met

de volgende, in Amerika toegepaste oplossing, die alleen mogelijk is met speciale lampen welke geen voorverhitting vereisen. Hier wordt de netspanning opgetransformeerd tot 450 volt, waarna men een normale duoschakeling, echter zonder starters, laat volgen (zie fig. 72).

Bij gebruik van TL-S-lampen zal het in vele gevallen mogelijk zijn onmiddellijk ontsteken te bereiken zonder speciale schakelingen toe te passen.

§ 8. VOEDING MET HOGERE FREQUENTIES

Interessante mogelijkheden ontstaan als voor de voeding spanningen van hoge frequentie ter beschikking zijn, bijv. 400 Hz, zoals voorkomt in grote vliegtuigen. Ook voor voertuigverlichting met fluorescentielampen komt deze frequentie meer en meer in zwang, daar aan het bedrijf op dergelijke frequenties een aantal opvallende voordelen zijn verbonden:

- 1) kleine afmetingen van de voorschakelapparatuur;
- 2) eenvoudige schakeling, die de lamp direct doet ontsteken;
- 3) verwaarloosbare lichtrimpel;
- 4) hogere efficiëncy van de lamp;
- 5) hogere arbeidsfactor van de lamp.

Een geschikte schakeling is in fig. 73 getekend; hierin treft men weer een voorijlende en een naijlende tak aan. De lampen ontsteken direct, doordat het LC-circuit dicht bij resonantie is op het moment van inschakelen, zodat aan de lamp een hoge ontsteekspanning ter beschik-

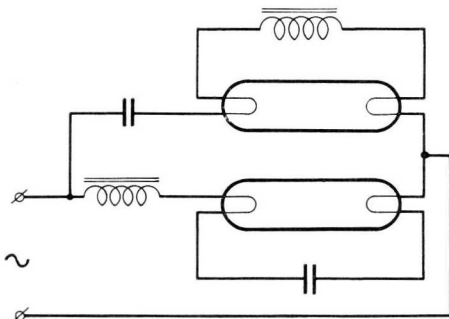


Fig. 73

Duoschakeling voor hoge frequenties.

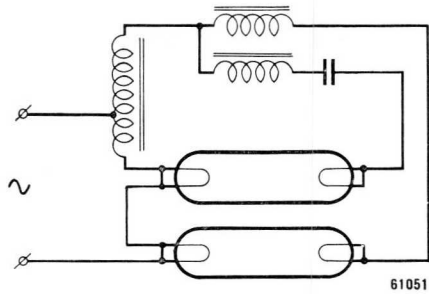


Fig. 72

Schakeling voor onmiddellijk ontsteken op hoge spanning. De schakeling is zodanig uitgevoerd, dat door inzetten van de lampen de primaire keten wordt gesloten. Zonder lampen staat er dus geen hoge spanning op de lamphouders.

king staat. Na ontsteken valt de spanning aan de condensator of de smoorspoel, die parallel aan de lamp staat, terug tot de brandspanning. Wegens de hoge frequentie zijn de condensatoren zo klein, dat de lampelektroden geen hinder van de ontladstromen ondervinden, zoals op 50 Hz wél het geval zou zijn.

Het verschil in stroom- en spanningsvorm voor een fluorescentie-

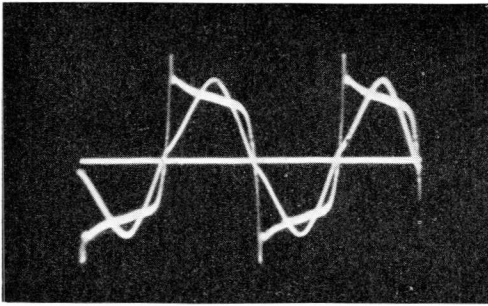


Fig. 74a

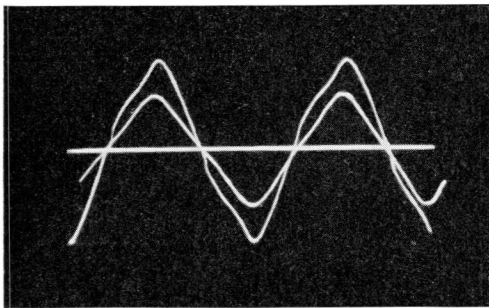


Fig. 74b

Oscillogrammen voor stroom en spanning bij een TL-lamp, brandend op wisselstroom van 50 Hz (a) en van 400 Hz (b).

lamp brandend op 50, resp. 400 Hz is weergegeven in de oscillogrammen van fig. 74. Men ziet dat stroom en spanning vrijwel sinusvormig zijn geworden op 400 Hz. De lichtrimpel is zeer klein geworden doordat de nalichttijd van de fluorescentiepoeders nu groot is ten opzichte van de duur van de periode van deze rimpel.

§ 9. GELIJKSTROOMVOEDING

Bij voeding met gelijkstroom ontmoeten wij enkele van dezelfde voordelen als bij voeding met hogere frequenties, nl.

geen lichtrimpel;

hoge efficiëncy van de lamp;

hoge arbeidsfactor van de lamp.

Hier staat een groot nadeel tegenover: het totale rendement van de verlichtingsinstallatie is veel kleiner dan

bij voeding op wisselstroom. Het stabiliseren van de ontlading moet nu nl. gebeuren met een weerstand die een eigenverbruik heeft dat ten naaste bij gelijk is aan het vermogen dat de lamp opneemt. Bij gebruik van een ohmse weerstand is dit volledig verlies. Gebruikt men een gloeilamp als stabiliserend element, dan is het in principe mogelijk haar licht te benutten en zodoende het rendement van het geheel weer te verbeteren. Hieraan zijn echter praktische bezwaren verbonden.

Wel is het mogelijk een gloeilamp als voorschakelweerstand te gebruiken zonder het licht ervan te benutten. De gloeilamp kan dan zó worden gekozen, dat haar levensduur vrijwel onbeperkt is, terwijl toch haar goede stabiliserende eigenschappen tot hun recht komen. Deze zijn namelijk veel beter dan die van een normale ohmse weerstand. Dit berust op het feit dat de weerstand van de gloeilamp afhangt van de stroom die er door vloeit; bij hogere stroom behoort een hogere weerstand.

Een gasontladingslamp heeft echter een negatieve stroom-spanningskarakteristiek. Daalt nu bijv. de netspanning, dan neemt de stroom af;

de brandspanning stijgt. De weerstand van de gloeilamp wordt dan kleiner, waardoor er meer spanning voor de gasontladingslamp ter beschikking blijft dan het geval zou zijn bij een normale weerstand. Fig. 75 laat het verschil in netspanningsgevoeligheid zien voor twee gevallen, waarin resp. een ohmse weerstand en een gloeilamp als voorschakel-element zijn gebruikt. Hierin stellen L en R de stroom-spanningskarakteristieken voor van een gasontladingslamp, resp. van een ohmse weerstand. Deze voorstellingswijze is reeds behandeld in hoofdstuk IV. Het punt S geeft de stroom en de spanning aan waarop de lamp gestabiliseerd wordt bij netspanning V_n . Willen we nu de gasontladingslamp stabiliseren met een gloeilamp, dan kan deze zó worden gekozen dat haar karakteristiek G ook door S gaat. Wij onderstellen nu dat de netspanning oploopt van V_n tot V_n' . Dan verschuift bij bedrijf op ohmse weerstand het evenwichtspunt naar S' (snijpunt van L met R'), terwijl bij bedrijf op gloeilamp de instelling S'' wordt bereikt als snijpunt van L met G' . Het is nu duidelijk dat met de gloeilamp de stroom- en de spanningsverandering veel kleiner zijn dan met de ohmse weerstand, zodat ook de veranderingen in opgenomen vermogen en lichtstroom veel kleiner zijn.

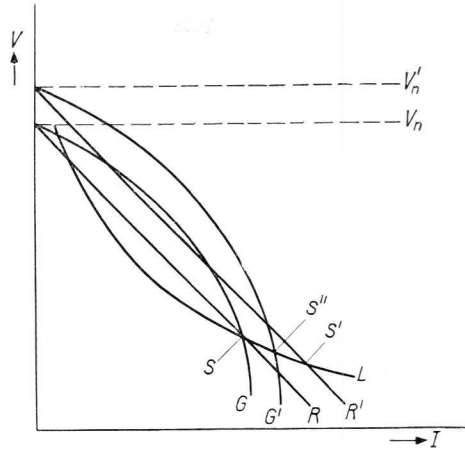


Fig. 75

Stabilisatie van een gasontladingslamp met een ohmse weerstand of met een gloeilamp. R en R' zijn de stroom-spanningskarakteristieken van een ohmse weerstand bij netspanningen V_n en V_n' , G en G' de overeenkomstige karakteristieken voor een gloeilamp. L is de karakteristiek van een gasontladingslamp. De punten S, S' en S'' stellen stabiele toestanden voor. Hier is de som der spanningen aan gasontladingslamp en weerstand (resp. gloeilamp) gelijk aan de netspanning.

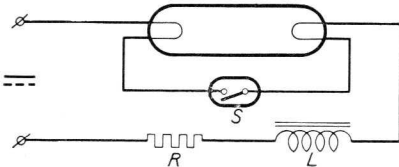


Fig. 76

Schakeling voor TL-lamp op gelijkstroom. De kleine zelfinductie L dient om een voldoende hoge ontsteekspanningsstoot te verkrijgen wanneer de starter S open gaat.

De meest gebruikte schakeling is weergegeven in fig. 76.

In serie met de weerstand R staat een kleine zelfinductie L, die dient om bij openen van de starter S een spanningsstoot voor de ontsteking te leveren. De starter kan hier zijn een handstarter, een gloeidraadstarter of een speciale glimlichtstarter die voor gelijkstroom geschikt is. Is de

beschikbare spanning laag, dan vervalt de mogelijkheid een glimlicht-starter te gebruiken, en komen alleen de beide andere typen in aanmerking.

Voor lampen langer dan 60 cm moet de mogelijkheid van ompolen aanwezig zijn, omdat de kwikdamp onder invloed van het elektrisch veld langzamerhand naar de kathodezijde van de lamp wordt getransporteerd en de lamp aan de andere kant „donker” gaat branden (electrophorese). Dit verschijnsel wordt voorkomen door periodiek ompolen, bijv. om de 5 uur of vaker. Als regel is het voldoende dit bij iedere inschakeling te doen, hetgeen met een speciale schakelaar automatisch kan gebeuren.

§ 10. RADIO-ONTSTORING

In het hoofdstuk Schakelingen dient ook het gebruik van een filter ter voorkoming van radiostoringen te worden besproken. Het blijkt namelijk dat hoogfrequente trillingen die in een TL-lamp worden opgewekt zich in het lichtnet kunnen voortplanten en van hieruit radiostoringen kunnen veroorzaken. Men schakelt nu een z.g. deltafilter tussen lichtnet en voorschakelapparaat, zoals aangegeven in fig. 77.

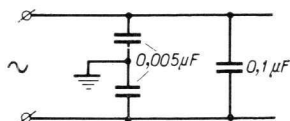


Fig. 77

Delta filter voor radio-ontstoring.

Hierbij wordt een maximaal effect bereikt als men het middenpunt tussen de beide condensatoren aan aarde legt. Is dit om praktische redenen niet mogelijk, dan kan men meestal volstaan met dit middenpunt te verbinden aan het metalen armatuur waarin de lampen branden. Met één filter kunnen verscheidene lampen tegelijk worden ontstoord.

§ 11. DIMMEN

Zoals reeds in hoofdstuk VII bij de behandeling van de lamptypen is vermeld, lenen zich TL-lampen niet goed voor dimmen, terwijl dit bij lampen met koude kathoden vaak goed uitvoerbaar is. Hiervoor zijn twee redenen aan te voeren:

- a) bij lage stroomsterkten door de lamp worden de kathoden van TL-lampen niet meer voldoende door de ontlading verhit, hetgeen bij lampen met koude kathoden geen bezwaren oplevert.
- b) TL-lampen worden steeds in parallelschakeling gebruikt. Wegens hun individueel verschillende ontsteekspanning zullen zij, indien het dimmen geschiedt door spanningsverandering, op verschillende tijdstippen ontsteken of doven. Bij in serie geschakelde lampen met koude kathoden ontsteken of doven alle lampen van een groep tegelijk.

De hier genoemde bezwaren voor TL-lampen zijn echter met een speciale schakeling te ondervangen. Hierbij zorgt men ervoor dat de kathoden permanent door een verwarmingsstroom worden doorlopen, terwijl verder de toegevoerde spanning steeds voldoende hoog wordt gehouden om de lampen te doen ontsteken. De lichtsterkte wordt geregeld door per periode de tijd gedurende welke de spanning beschikbaar is te variëren. Met een thyatronschakeling kan men namelijk een willekeurig gedeelte van de wisselspanningssinus onderdrukken. Op deze wijze is een continu verlopende regeling van 100% tot bijna 0% licht en omgekeerd te bereiken.

§ 12. LAMPKARAKTERISTIEKEN

Wegens de zeer nauwe samenhang tussen gasontladinglamp en voorschakelapparaat, wordt de afhankelijkheid van verschillende lamp-eigenschappen van de netspanning sterk beïnvloed door het gebruikte voorschakelapparaat. Daarom kan

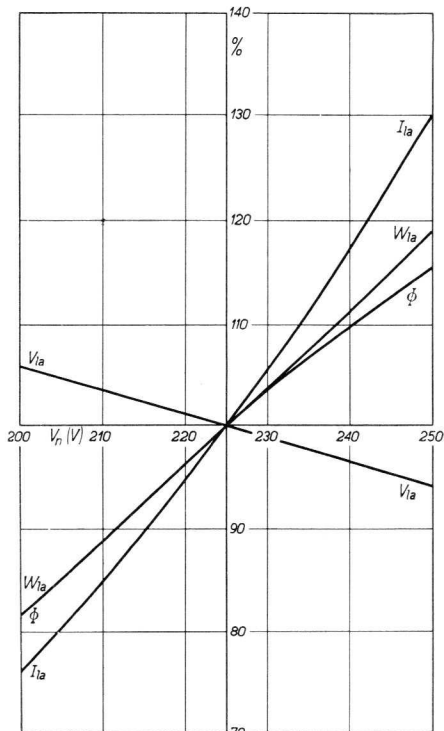


Fig. 78a

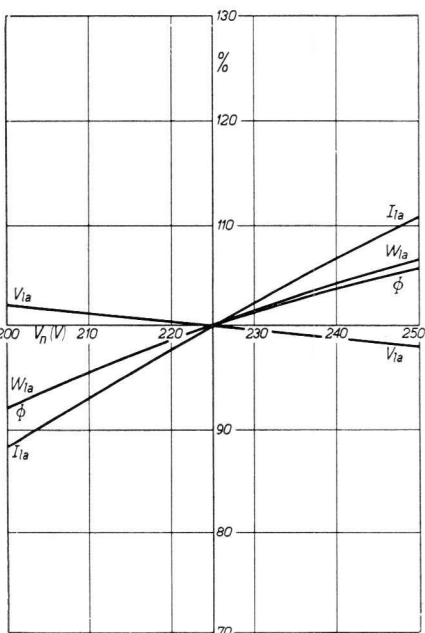


Fig. 78b

Invloed van netspanningsveranderingen op enkele karakteristieke eigenschappen van een TL 40 W lamp: a. brandend op een smoorspoel, b. brandend op een capacitief apparaat. V_{la} = brandspanning; W_{la} = lampvermogen; I_{la} = lampstroom; Φ = lichtstroom; V_n = netspanning.

men niet zonder meer spreken van *de* karakteristieken van een lamp, maar moet men hierbij steeds het voorschakelapparaat vermelden. Als representatieve voorbeelden geven wij hier (fig. 78) de karakteristieken van een TL 40 W, brandend resp. op een smoorspoel en op een capaciteif voorschakelapparaat. Men ziet duidelijk dat bij dit laatste de invloed van netspanningsvariaties veel geringer is dan bij de smoorspoel, in overeenstemming met de op blz. 108 besproken eigenschappen van deze beide apparaten.



Directiekamer.

12 buislampen TL-25 W in roostervormig ornament; lichtstroom vnl. omhoog en omlaag;
lage helderheid in zijdelingse richting.

VOORSCHAKELAPPARATEN

§ 1. INLEIDING

In hoofdstuk IV is reeds uiteengezet dat gasontladingslampen een dalende stroom-spanningskarakteristiek hebben; het gevolg hiervan is, dat de lampstroom niet begrensd is als de lamp is aangesloten op een net met constante spanning. Daarom is het noodzakelijk een impedantie in serie met de lamp te schakelen, waardoor de stroom tot de gewenste waarde wordt beperkt.

Een tweede consequentie van deze dalende stroom-spanningskarakteristiek is dat, als door de lamp een sinusvormige stroom van lage frequentie wordt gestuurd, de lampspanning sterk vervormd is. Volgens fig. 79 kan deze lampspanning worden geconstrueerd voor een halve periode van de stroom. Als de lamp symmetrisch is geconstrueerd, zal in de volgende halve periode hetzelfde spanningsverloop optreden met tegengesteld teken.

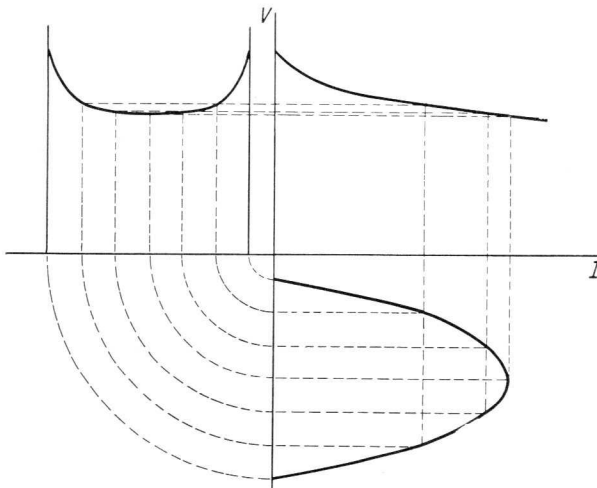


Fig. 79

Constructie voor een halve periode van de lampspanning bij een sinusvormige lampstroom met behulp van de stroom-spanningskarakteristiek van de lamp.

Voor frequenties, hoger dan enkele tientallen perioden per seconde, is deze constructie niet meer juist, omdat de gegeven stroom-spanningskarakteristiek alleen geldt voor langzame stroomvariatië (statische karakteristiek). Bij snellere stroomveranderingen wijzigt de karakteristiek zich, omdat de ionisatietoestand in de gasontlading de snelle stroomvariatië niet meer kan volgen. Dit

effect werkt bij frequenties van 1000 Hz en hoger zó, dat de lampspanning sinusvormig wordt als een sinusvormige stroom door de lamp wordt gestuurd.

In fig. 80 is een reeks oscillogrammen afgebeeld, die zijn opgenomen aan een fluorescentielamp TL 25 W, bij verschillende frequenties van de stroom.

Bij de lagere frequenties is het in fig. 79 geconstrueerde spanningsverloop nog goed terug te vinden; bij de hogere frequenties gaat de spanning steeds meer in een sinuslijn over. Dit laatste is belangrijk, omdat het een van de redenen is waarom er interesse bestaat voor het gebruik van frequenties (meestal 400 Hz) welke van de normaal in de wereld voorkomende netfrequenties van 40 - 60 Hz afwijken.

Bij frequenties van 400 Hz kunnen wij zonder een grote fout te maken, voor het berekenen van het voorschakelapparaat de lampspanning als zuiver sinusvormig aannemen en gebruik maken van de bekende regels der electrotechniek en van vectordiagrammen.

Bij frequenties van 40 - 60 Hz is de invloed van harmonischen in stroom en spanning echter zo groot, dat het gebruik van vectordiagrammen veel voorzichtigheid vereist en slechts tot een ruwe benadering van de werkelijkheid leidt.

In vele gevallen worden nauwkeuriger berekeningen mogelijk gemaakt, door bij deze frequenties de lampspanning te schematiseren tot een „blokjes” figuur ¹⁾; in par. 2 zal hiervan enige malen gebruik worden gemaakt.

Volgens Fourier kan de blokjesfiguur worden ontwikkeld in de reeks:

$$f(\omega t) = \frac{4 V_{1a}}{\pi} (\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \text{enz.}), \quad (1)$$

zodat men de lamp in dit geval kan beschouwen als een generator welke

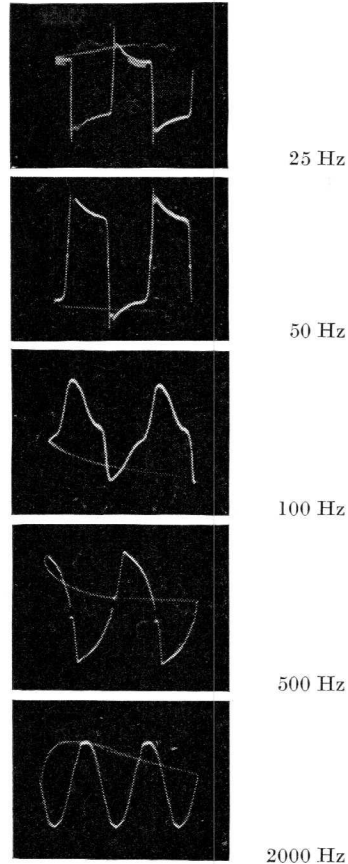


Fig. 80

De vorm van de lampspanning bij verschillende frequenties van de sinusvormige stroom.

¹⁾ E. G. Dorgelo: Wisselstroomschakelingen voor ontladingslampen, Philips Technisch Tijdschrift, 2, 103—109, 1937 (Nr. 4).

t.o.v. de netspanning een tegenspanning levert die alle oneven harmonischen van de netfrequentie bevat ¹⁾).

Afhankelijk van de aard van de impedantie die als stabiliserend voorschakelapparaat wordt gebruikt, wordt door deze generator een stroom in het net gestuurd waarin de hogere harmonischen met bepaalde amplituden voorkomen. Als gevolg van de vervormde lampspanning, is de arbeidsfactor α_{la} van de lamp kleiner dan 1, en wel geldt (zie blz. 71)

$$\alpha_{la} = \frac{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i v d\omega t}{I_{la} V_{la}}, \quad (2)$$

waarin i en v de momentele waarden van lampstroom en lampspanning zijn en I_{la} en V_{la} de effectieve waarden.

In het geval dat de lampstroom sinusvormig is en de spanning wordt weergegeven door een blokjeslijn, volgt voor α_{la} de waarde 0,9; in de meeste praktijkgevallen vindt men waarden van α_{la} welke liggen tussen 0,8 en 0,9.

Als wij even afzien van meer ingewikkelde schakelingen en ons in dit hoofdstuk beperken tot enkelvoudige elementen in serie met de lamp, dan zijn er de volgende mogelijkheden:

- a. niet- (of bijna niet) van de temperatuur afhankelijke weerstand,
- b. sterk temperatuurafhankelijke weerstand,
- c. zelfinductie,
- d. capaciteit.

De eerste twee elementen zijn bruikbaar bij gelijk- en bij wisselstroomvoeding; de laatste twee alleen bij wisselstroomvoeding.

§ 2. GELIJKSTROOMVOEDING

a. *Niet van de temperatuur afhankelijke weerstand*

Uit de karakteristiek van de lamp kan worden bepaald welke lampspanning V_{la} en lampstroom I_{la} nodig zijn om een bepaald vermogen in de lamp te krijgen.

Is de netspanning V_n , dan is nodig een weerstand R :

$$R = \frac{V_n - V_{la}}{I_{la}}. \quad (3)$$

¹⁾ Omdat het werkelijk verloop van de lampspanning geen scherpe hoeken vertoont, komen hogere harmonischen dan de 9e bijna niet voor.

Het rendement η van de schakeling is gelijk aan het lampvermogen, gedeeld door het totale opgenomen vermogen, dus:

$$\eta = \frac{V_{la} \cdot I_{la}}{V_n \cdot I_n} = \frac{V_{la}}{V_n} \quad (4)$$

Het gevolg van de noodzaak, de lampstroom te stabiliseren door een weerstand in serie met de lamp op te nemen, is dus een verlagings van het rendement.

Om het rendement zo groot mogelijk te houden, moet volgens (4)

de verhouding $\frac{V_{la}}{V_n}$ groot zijn; dit

betekent echter dat de gevoeligheid voor netspanningsschommelingen groter wordt. In fig. 81a

is de variatie van de lampwatts (d.i. praktisch de variatie in lichtstroom) afhankelijk van de verhouding $\frac{V_{la}}{V_n}$, zoals die werd gemeten aan een TL 40 W lamp, weergegeven.

Een ander gevolg van een hoge waarde van $\frac{V_{la}}{V_n}$ is, dat de stroom die door de weerstand vloeit, bij kortgesloten lamp zeer hoog wordt.

Deze kortsluitstroom I_k is belangrijk als voor het ontsteken van de lamp een starter wordt gebruikt, die tijdens het ontsteken de lamp intermitterend kortsluit om de elektroden te verwarmen.

Omdat: $I_k = \frac{V_n}{R}$, volgt met behulp van (3):

$$\frac{I_k}{I_{la}} = \frac{1}{1 - \frac{V_{la}}{V_n}} \quad (5)$$

Het volgens deze formule berekende verloop van $\frac{I_k}{I_{la}}$ is getekend in fig. 81b.

b. *Van de temperatuur afhankelijke weerstand*

Een belangrijke verbetering van het rendement kan worden bereikt door als voorschakelapparaat een weerstand met grote, positieve temperatuurcoëfficiënt te nemen. De gevoeligheid voor netspanningsschommelingen

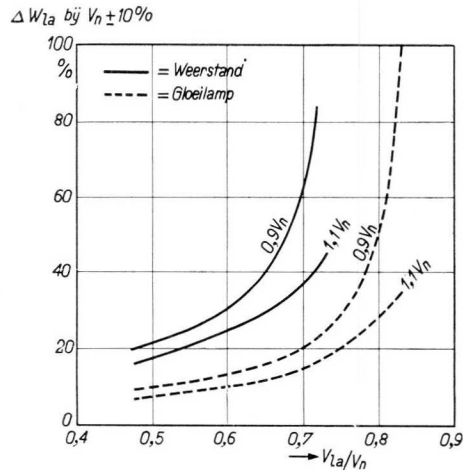


Fig. 81a

Procentuele verandering van het lampvermogen bij gelijkstroomvoeding, als functie van V_{la}/V_n , voor netspanningen van 90%, resp. 110% van de nominale waarde.

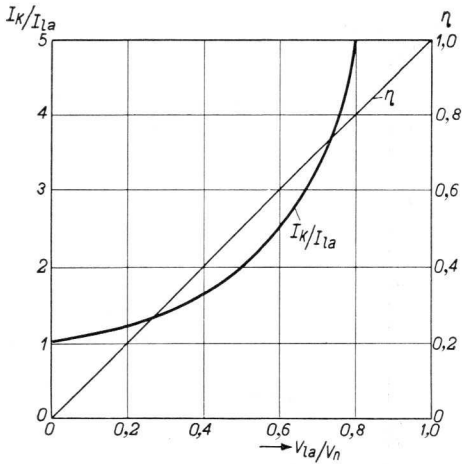


Fig. 81b

Het rendement en de verhouding I_k/I_{Ia} als functie van V_{Ia}/V_n bij gelijkstroomvoeding met een weerstand als voorgeschakelde impedantie.

de laagste spanning over de buis bij constante stroom) hebben van:

$$G \geq \frac{1,1 V_n - V_{Ia}}{0,9 V_n - V_{Ia}}.$$

Waarden tot $G = 6$ zijn practisch mogelijk, zodat een verhouding $\frac{V_{Ia}}{V_n} = 0,86$ bereikbaar is. Tijdens het ontsteken van de fluorescentielamp met een starter, komt de regulatorbuis op de volle netspanning te staan. Om dan beschadiging van de buis te voorkomen, is het gewenst dat de stroom niet te ver buiten het regelgebied komt; de waarde van $\frac{V_{Ia}}{V_n}$, dus van η , is daarom practisch beperkt tot 0,7 à 0,75.

Een andere geschikte, van de temperatuur afhankelijke weerstand is een gloeilamp. Om overbelasting van de gloeilamp tijdens het ontsteken van de fluorescentielamp te voorkomen, is het gewenst een gloeilamp te kiezen van hetzelfde voltage als de netspanning waarop de TL-lamp moet branden; in de bedrijfstoestand is de gloeilamp dan sterk onderbelast.

De meetresultaten, gevonden aan een TL 40 W met gloeilamp in serie, zijn ter vergelijking in fig. 81a opgenomen. De gunstige invloed van de gloeilamp komt zeer duidelijk tot uiting.

¹⁾ J. G. W. Mulder: Stroomregulatorbuizen, Philips Technisch Tijdschrift, 3, 74—80, 1948 (Nr. 3).

Wil men profijt van de aanwezigheid van een gloeilamp trekken door deze ook licht te laten geven en daardoor het rendement verder op te voeren, dan moet een speciale voorziening worden getroffen, die tijdens het ontsteken de gloeilamp tegen te sterke overbelasting beschermt. Hierop gaan we in dit hoofdstuk niet verder in.

§ 3. WISSELSTROOMVOEDING

a. Voorgeschakelde weerstand

Bij hogere frequenties (400 Hz) is er weinig verschil tussen gelijk- en wisselstroomvoeding; dezelfde formules zijn geldig, waarbij dan voor wisselstroomvoeding de effectieve waarden van stroom en spanning bedoeld zijn. Bij frequenties van 40 - 60 Hz is er wél een belangrijk verschil; volgens fig. 82 is de spanning over de weerstand, en dus ook de stroom, sterk vervormd, en is gedurende een belangrijk deel van elke halve periode de stroom zelfs nul.

Gedurende dit deel (α) van de periode wordt slechts weinig licht uitgestraald; de lamp flakkert. In het bijzonder bij hoge waarden van $\frac{V_{la}}{V_n}$ is dit effect sterk, want:

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{V_{la}}{V_n \sqrt{2}}$$

De stroomvervorming kan worden berekend met behulp van (1). De topwaarde van de grondgolf van de lampstroom is:

$$I_1 = \frac{V_n \sqrt{2} - \frac{4}{\pi} V_{la}}{R}$$

terwijl de n^e harmonische als topwaarde heeft:

$$I_n = \frac{4 V_{la}}{n \pi R} \quad (n = 3; 5; \text{enz.}),$$

zodat bij de practisch gebruikelijke verhouding $\frac{V_{la}}{V_n} = 0,5$, de n^e harmonische in procenten van de grondgolf

$$\frac{I_n}{I_1} = \frac{82}{n} \% \text{ bedraagt} \quad (n = 3; 5; \text{enz.}).$$

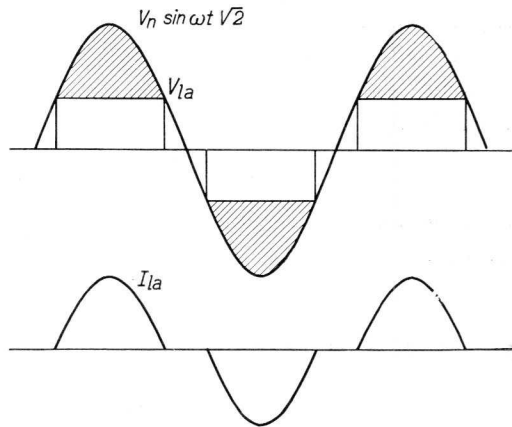


Fig. 82

Verloop van V_{la} en I_{la} bij wisselstroomvoeding met voorgeschakelde weerstand. De gearceerde delen geven aan waar de netspanning groter is dan de lampspanning, en er dus stroom door de lamp gaat.

b. *Zelfinductie (smoorspoel)*

Bij hogere frequenties, en als de lampspanning V_{la} sinusvormig is, kan de lamp worden vervangen door een weerstand R_{la} , welke bij een bepaalde instelling van de lamp (V_{la} ; I_{la}) gelijk is aan $\frac{V_{la}}{I_{la}}$.

De smoorspoel is te beschouwen als een serieschakeling van een zuivere zelfinductie L en een verliesweerstand R . Volgens de bekende regels van de wisselstroomtheorie is dan:

$$\eta = \frac{R_{la}}{R + R_{la}}, \quad (6)$$

en de fazeverschuiving tussen lampstroom en netspanning:

$$\cos \varphi = \frac{V_{la} + I_{la} \cdot R}{V_n}. \quad (7)$$

Vergeleken met een voorgeschakelde weerstand, heeft een smoorspoel het voordeel van een hoger rendement (80 à 90%), waar echter een lagere arbeidsfactor (welke hier gelijk is aan $\cos \varphi$) tegenover staat. Bovendien vloeit gedurende de volledige halve periode stroom, tenzij $\frac{V_{la}}{V_n}$ zeer hoog wordt gekozen. De lamp flikkert daardoor aanzienlijk minder.

Bij frequenties van 40 - 60 p/s zijn V_{la} en I_{la} niet meer sinusvormig; de berekening van de vereiste ωL en van de te bereiken η en arbeidsfactor is dan veel ingewikkelder.

Wij volstaan met de resultaten te geven welke zijn berekend voor een „rechthoekige” lampspanning, voor $R = 0$ en voor een lineaire smoorspoelkarakteristiek.¹⁾

Voor de spanningsvergelijking wordt gevonden:

$$V_n^2 = (I_{la} \cdot \omega L)^2 + (1,09 V_{la})^2; \quad (8)$$

voor de fazeverschuiving tussen nuldoorgang van netspanning en lampstroom:

$$\cos \varphi = \frac{1,11 V_{la}}{V_n},$$

terwijl de arbeidsfactor α nu niet meer gelijk is aan $\cos \varphi$, maar:

$$\alpha = 0,9 \frac{V_{la}}{V_n} = 0,81 \cos \varphi.$$

Dit is een gevolg van de stroomvervorming welke, weer uitgaande van verg. (1), globaal te berekenen is.

¹⁾ Zie E. G. Dorgelo, l.c.

De topwaarde van de grondgolf is:

$$I_1 = \frac{\sqrt{2 E_n^2 - \left(\frac{4}{\pi} V_{la}\right)^2}}{\omega L},$$

en de topwaarde van de n^e harmonische:

$$I_n = \frac{4 V_{la}}{\pi n^2 \omega L} \quad (n = 3; 5; \text{enz.}).$$

Voor $V_{la} = 0,5 V_n$ is de n^e harmonische, uitgedrukt in de grondgolf:

$$\frac{I_n}{I_1} = \frac{51}{n^2} /_0 \quad (n = 3; 5; \text{enz.}).$$

Bij stijgende rangorde neemt de amplitude zeer snel af.

c. Capaciteit

Een condensator als voorschakelapparaat is op het eerste gezicht ideaal; de eigen verliezen kunnen zeer laag worden gehouden, waardoor een η van bijna 100% te bereiken is; de condensator wordt vrijwel niet warm, zodat de koeling geen probleem vormt, en ten slotte is de kans op brommen gering. Voor de hogere frequenties zijn deze voordelen inderdaad te realiseren; het vectordiagram en de vergelijkingen (6) en (7) gelden ook voor dit geval door ωL te vervangen door $\frac{1}{\omega C}$. De fazeverschuiving φ is echter juist tegengesteld van teken aan die welke bij een smoorspoel optreedt. Bij frequenties van 40 - 60 Hz is de condensator evenwel onbruikbaar, omdat de lampstroom heel sterk wordt vervormd.

De topwaarde van de n^e harmonische is:

$$I_n = \frac{4 V_{la}}{\pi} \omega C,$$

dus onafhankelijk van n . Alle oneven harmonischen komen met dezelfde amplitude voor!

Ook op andere wijze is in te zien dat een condensator op de lage frequenties onbruikbaar is. De lampspanning V_{la} gaat elke halve periode discontinu over van $+V_{la}$ in $-V_{la}$. Aangenomen kan worden dat, tijdens de zeer korte hiervoor nodige tijd, de netspanning constant is, zodat de totale spanningsverandering wordt opgenomen door de condensator.

Volgens

$$V_c = Q/C,$$

waarin V_c de spanning over de condensator, Q de lading en C de capaci-

teit is, moet Q even snel veranderen als V_c . Voor deze snelle ladingsverandering is een zeer sterke stroomstoot nodig. Deze stroomstoot gaat elke halve periode door de lamp, waardoor het licht in flitsen wordt uitgestraald en de levensduur van de lamp ernstig wordt benadeeld.

Samenvattend zijn de aantrekkelijkste mogelijkheden de volgende: bij gelijkstroomvoeding een van de temperatuur afhankelijke weerstand, bij wisselstroomvoeding van lage frequentie een smoorspoel, en bij hogere frequenties een condensator.

In speciale gevallen echter kan een andere oplossing wel eens bijzondere voordelen hebben.

Op meer ingewikkelde schakelingen is reeds in hoofdstuk IX nader ingegaan.

§ 4. IJZERKERNEN

Om redelijke afmetingen te bereiken, worden de in de vorige paragraaf behandelde smoorspoelen uitgevoerd met een ijzerkern. Omdat de magnetiseringskarakteristiek van de gebruikelijke kernmaterialen een sterk gekromd verloop heeft (B-H-kromme), ontstaan enige verschillen ten opzichte van een smoorspoel met lineaire karakteristiek, en wel zijn:

1. de stroomvervorming groter,
2. de verhouding I_k/I_{1a} groter,
3. de W_{1a} , en dus de lichtopbrengst, meer afhankelijk van netspanningsschommelingen.

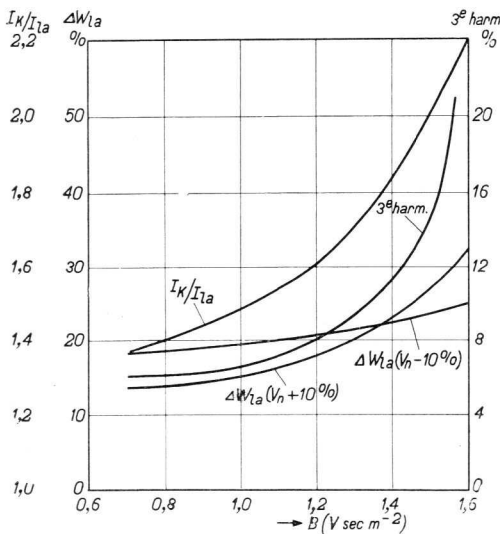


Fig. 83

De invloed van de grootte van de inductie in de ijzerkern van een smoorspoel op I_k/I_{1a} , stroomvervorming en W_{1a} .

In fig. 83 zijn meetresultaten weergegeven als werden gevonden bij een TL 40 W lamp en smoorspoelen met verschillende waarden van de inductie B . In § 5 zal blijken, dat het gewenst is B zo hoog mogelijk te kiezen, om de smoorspoelafmetingen klein te houden; aan het opvoeren van B is echter een grens gesteld door de wenselijkheid de drie bovengenoemde effecten binnen redelijke grenzen te houden.

Om een goede voorverwarming van de lampelektroden tijdens het ontsteken te verkrijgen, is een verhouding

I_k/I_{1a} van 1,5 - 1,8 gewenst; bij lagere waarden komen de elektroden te langzaam op de vereiste temperatuur; bij hogere waarden bestaat kans op oververhitting, wat schadelijk is voor de levensduur.

De stroomvervorming en de invloed van netspanningsschommelingen nemen bij waarden van B boven 1,2 à 1,3 V sec m^{-2} snel toe; praktisch is men daarom beperkt tot waarden van B welke liggen tussen 0,9 en 1,3 V sec m^{-2} .

Verliezen in de ijzerkern. De met de netfrequentie wisselende inductie in de ijzerkern veroorzaakt verliezen; deze zijn te onderscheiden in hysteresis- en wervelstroomverliezen.

De hysteresisverliezen zijn afhankelijk van de samenstelling en de behandeling van het kernmateriaal; de wervelstroomverliezen zijn bovendien afhankelijk van de materiaaldikte. Om de verliezen te beperken wordt geen zuiver ijzer gebruikt, maar worden legerende bestanddelen, voornamelijk silicium, toegevoegd. Bovendien wordt de kern onderverdeeld in dunne (0,5 à 1,0 mm) plaatjes, welke van elkaar zijn gescheiden door een isolatielaag. Bij grotere vermogens wordt hiervoor een dunne papierlaag gebruikt; bij de vermogens welke voorkomen bij voorschakelapparaten van fluorescentielampen is een oxydelaag op het blikoppervlak al voldoende.

Het is gebruikelijk, de totale verliezen van het kernmateriaal op te geven bij een inductie B van 1 V sec m^{-2} in watt/kg; bij andere waarden van B zijn de verliezen dan bij benadering te berekenen door ze evenredig met B^2 te stellen.

§ 5. DE AFMETINGEN VAN HET VOORSCHAKELAPPARAAT IN VERBAND MET VERLIEZEN EN LEVENSDUUR

Aangezien het voorschakelapparaat alleen maar als een noodzakelijk kwaad is te beschouwen, is het gewenst het klein, goedkoop en met geringe verliezen uit te voeren. Bovendien moet zijn levensduur lang zijn, omdat het niet eenvoudig uitwisselbaar is te maken. De levensduur van het voorschakelapparaat is in direct verband te brengen met de temperatuurstijging die in bedrijf en bij stoorgevallen optreedt, en de grootte van deze temperatuurstijging is ook van belang met het oog op brandgevaar. Aan deze uiteenlopende eisen is niet tegelijk te voldoen; het is nodig een zo gunstig mogelijk compromis te sluiten.

Omdat smoorspoelen ¹⁾, afzonderlijk of gecombineerd met condensator, het meest worden gebruikt, zal in het volgende worden onderzocht welke mogelijkheden er zijn, om bij een veilige temperatuurstijging de afmetingen van een smoorspoel zo klein mogelijk te houden.

¹⁾ De volgende beschouwingen zijn ook geldig voor transformatoren die worden gebruikt om zo nodig de netspanning te verhogen.

De spanning over de smoorspoelklemmen is, volgens de bekende formule:

$$V_{\max.} = \sqrt{2} \cdot V_{\text{eff.}} = \omega A_{\text{Fe}} \cdot B n, \quad (9)$$

waarin $\omega = 2\pi \cdot$ netfrequentie in Hz,
 $A_{\text{Fe}} =$ kerndoorsnede in m^2 ,
 $B_m =$ max. inductie in de kern in V sec/m^2 , ¹⁾
 $n =$ aantal windingen.

De stroom door de wikkeling is:

$$i_{\text{eff.}} = \frac{S \cdot A_{\text{Cu}}}{n}, \quad (10)$$

waarin $S =$ stroomdichtheid in A/m^2 ,
 $A_{\text{Cu}} =$ totale koperdoorsnede (van n windingen in m^2),
 $n =$ aantal windingen.

Als wij verder invoeren :

$a =$ kernbreedte	}	in m,
$h =$ stapelhoogte van de kern		
$b =$ vensterbreedte		
$c =$ vensterlengte		
$F_{\text{Fe}} =$ ijzervulfactor		
$F_{\text{Cu}} =$ kopervulfactor,		

dan is met behulp van (9) en (10) het schijnbare vermogen in volt-ampères (VA) te vinden:

$$\text{„volt-ampère”} = V_{\text{eff.}} \cdot I_{\text{eff.}} = \omega B S F_{\text{Fe}} F_{\text{Cu}} a b c h.$$

Deze formule leert dat het, bij gegeven volt-ampère, nodig is B , S , F_{Fe} en F_{Cu} groot te kiezen, om de kernafmetingen klein te houden.

Uit hetgeen in § 3 is opgemerkt over de invloed van de kromming van de smoorspoelkarakteristiek, volgt dat de keuze van de inductie beperkt is; bij de gebruikelijke kernmaterialen komt men tot waarden voor B tussen 0,9 en 1,3 V sec m^{-2} .

De verliezen in de ijzerkern zijn in eerste benadering evenredig met $V_1 B^2$, waarin V_1 het verliescijfer per kg blik bij 1 V sec m^{-2} is. Bij elke waarde van B kunnen de ijzerverliezen W_{Fe} nog vrij willekeurig worden gevarieerd door verschillende blikkwaliteiten te gebruiken.

De stroomdichtheid S kan zo hoog worden opgevoerd als de temperatuurseveiligheid toelaat; de koperverliezen W_{Cu} nemen evenredig toe met S^2 . De vulfactoren F_{Fe} en F_{Cu} ten slotte, zijn bepaald door de technische mogelijkheden; practisch ligt F_{Fe} tussen 0,85 en 0,95, en F_{Cu} tussen 0,25 en 0,35.

¹⁾ De practische eenheid V sec/m^2 komt overeen met 10 000 gauss.



Spinnerij verlicht met één buislamp TL-40 W per reflector. Sterkte 180 lux.



Plaatselijke verlichting in spuitkasten door middel van 4 buislampen TL-40 W in explosie-vrije armaturen.

Veronderstellen wij nu een smoorspoel welke voor een gegeven schijnbaar vermogen VA en bij de hoogst mogelijke waarden van F_{Fe} en F_{Cu} zo gunstig mogelijk is geconstrueerd, d.w.z. dat de kernafmetingen a, b, c en h zó zijn bepaald, dat een gunstig compromis is gevonden tussen kostprijs en verliezen. IJzer- en koperverliezen zijn dan aan elkaar gelijk. Deze smoorspoel kan op de gunstigste wijze worden verkleind door alle vier de kernafmetingen in gelijke mate te verkleinen.

De nieuwe afmetingen zijn:

$$a' = \frac{a}{p} \quad b' = \frac{b}{p} \quad c' = \frac{c}{p} \quad h' = \frac{h}{p},$$

waarin $p > 1$.

Volgens verg. (1) moet dan, om VA constant te houden, het product BS veranderen:

$$B' S' = p^4 \cdot B S.$$

Om gelijke verdeling van de verliezen te behouden, moet

$$B' = p^2 B \quad \text{en} \quad S' = p^2 S.$$

In aanmerking nemend, dat ijzer- en kopergewichten met p^3 dalen, volgt dat $W' = p W$.

De temperatuurstijging is in eerste benadering evenredig met het quotiënt van W en het totale smoorspoeloppervlak A, dus

$$\Delta T = K \cdot W/A,$$

zodat bij de kleinere afmetingen ΔT stijgt volgens

$$\Delta T' = p^3 \Delta T.$$

Het gevolg van het verkleinen van de smoorspoelafmetingen is dus een stijging van de verliezen, maar vooral een snelle stijging van de temperatuur, nl. omgekeerd evenredig met het gewicht. Als bij het verkleinen van de afmetingen de inductie B' te grote waarden gaat aannemen, dan moet worden afgeweken van de gunstigste verdeling van de verliezen over koper en ijzer, en dan stijgt ΔT nog sneller met toenemende waarden van p.

Het probleem van de smoorspoelafmetingen wordt dus geheel beheerst door het temperatuurprobleem; kleine afmetingen van een voorschakelapparaat wijzen meestal op een gevaarlijk hoge bedrijfstemperatuur.

In fig. 84 is het verband gegeven dat bestaat tussen de levensduur van de gebruikelijke isolatiematerialen en de bedrijfstemperatuur. Als de bedrijfstemperatuur 105 °C bedraagt, dus bij de hoogste voorkomende omgevingstemperaturen van ca. 35 °C de temperatuurstijging van het voorschakelapparaat 70 °C is, dan wordt een levensduur van de isolatie van 10 à 25 jaar bereikt.

De Philips voorschakelapparaten zijn geconstrueerd voor een gemiddelde temperatuurstijging van $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ onder ongunstige opstellingscondities, zodat nog een reserve van $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ aanwezig is voor voorkomende kleine verschillen in de lampen en apparaten.

Gevaar voor de omgeving bestaat, ook bij montage op een brand-

baar materiaal als hout, bij deze temperatuur in het geheel niet.

Het is mogelijk, dat een voorschakelapparaat gedurende enige tijd overbelast wordt doordat de starter defect raakt en sluiting maakt, of doordat er sluiting ontstaat in de leidingen tussen apparaat en lamp. In dat geval bedraagt de temperatuurstijging van Philips voorschakelapparaten ca. $120\text{ }^{\circ}\text{C}$; bij een omgevingstemperatuur van $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ wordt dan de levensduur van de isolatie 4 tot 9 maanden (fig. 84), een tijd die wel zeer lang is t.o.v. de tijd die verloopt voor een storing kan zijn opgeheven.

De temperatuurstijging van het montagevlak blijft hierbij onder de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, zodat ook in dit geval geen gevaar bij montage op brandgevaarlijk materiaal bestaat.



Fig. 84

Levensduur van geïmpregneerde organische isolatiematerialen, afhankelijk van de bedrijfstemperatuur. (Overgenomen uit het „Standard Handbook for Electrical Engineers” — McGraw-Hill Book Company Inc. 1941).

§ 6. LANGGEREKTE VORM VOOR HET VOORSCHAKEL-APPARAAT

Door de langgerekte vorm van de TL-lampen, die veelal leidt tot het gebruik van bedradingsgoten met een kleine dwarsdoorsnede, is het in vele gevallen aantrekkelijk ook het voorschakelapparaat een kleine dwarsdoorsnede te geven, waardoor het noodgedwongen langer moet worden en af gaat wijken van de meest economische vorm.

Een methode om lange en slanke smoorspoelen en transformatoren te verkrijgen, is a, b en h te verkleinen en de vensterlengte c te vergroten. Dit kan echter niet onbeperkt worden voortgezet, omdat:

a) de spreiding van het magnetisch veld in- en uitwendig met toenemende c snel stijgt, waardoor de inductie in de kern niet meer overal gelijk is en plaatselijk een hogere verzadiging optreedt. Bij smoorspoelen is het

gevolg hiervan een hogere I_k , een grotere stroomvervorming en een grotere kans op meetrillen van ijzeren armaturenonderdelen onder invloed van het spreidingsveld.

b) de kans op eigen brom van de smoorspoel of transformator groter wordt (zie ook § 10).

Ook kunnen de smoorspoelen of transformatoren worden gesplitst in kleinere eenheden, die naast elkaar worden opgesteld en in serie of parallel worden geschakeld. Deze methode vereist meer materiaal en heeft grotere verliezen dan de eerste, maar is bij zeer kleine dwarsdoorsneden noodzakelijk om de genoemde bezwaren te vermijden.

Als een smoorspoel of transformator wordt onderverdeeld in n eenheden van het $1/n^e$ vermogen, worden de nieuwe afmetingen (bij constant gehouden B en S) kleiner in reden $n^{1/4}$. Het gewicht van de n eenheden verandert met reden $n \cdot n^{-3/4} = n^{1/4}$, dus $G' = n^{1/4} \cdot G$, en daardoor worden de verliezen

$$W' = n^{1/4} W .$$

Het oppervlak van één spoeltje wordt t.o.v. het oorspronkelijke oppervlak:

$$A' = A \cdot n^{-1/2} .$$

Het nuttige oppervlak van n spoeltjes is niet $n \times$ zo groot, omdat de naar elkaar gekeerde eindvlakken niet tot de koeling bijdragen. Stellen wij een eindvlak op 10% van het totale oppervlak, dan wordt A' :

$$A' = (0,8 n + 0,2) \cdot A \cdot n^{-1/2} ,$$

dus

$$\Delta T' = \frac{n^{3/4}}{0,8 n + 0,2} \Delta T .$$

In tabel 1 zijn voor verschillende waarden van n het gewicht, de verliezen en de ΔT gegeven in procenten van de uitgangswaarden.

De temperatuurstijging $\Delta T'$ daalt langzaam bij toenemende waarden van n . Dit is prettig omdat hiervan gebruik kan worden gemaakt om een fout die met deze berekening is gemaakt te kunnen corrigeren. Bij

TABEL I

Aantal	Gewicht %	Verliezen %	ΔT %
2	119	119	94
3	132	132	88
4	141	141	83
5	150	150	80

de steeds kleiner wordende vensters $b \times c$ wordt namelijk de practisch mogelijke vulfactor F_{Cu} kleiner, waardoor de uit de berekening voortvloeiende hoeveelheden koper niet kunnen worden ondergebracht.

Door de draaddiameter iets kleiner te kiezen, wordt dit weer in orde gemaakt; de ΔT komt dan weer ongeveer op 100%, terwijl de verliezen W' iets stijgen en het gewicht G' iets daalt.

Van geval tot geval zal moeten worden nagegaan of het nog toelaatbaar is één langgerekte smoorspoel te kiezen, dan wel of het noodzakelijk is te besluiten tot het gebruik van verscheiden kleine smoorspoelen.

§ 7. VERSCHILLENDE KERNCONSTRUCTIES

Er zijn voor de ijzernernen van smoorspoelen en transformatoren twee hoofdvormen gebruikelijk:

- a. het manteltype,
- b. het kerntype.

Dit laatste komt voor in twee uitvoeringen, nl. met één en met twee spoelen (fig. 85).

Men kan aantonen, dat het voor een gegeven vermogen VA en bij gegeven vulfactoren F_{Fe} en F_{Cu} , in verliezen en in materiaal practisch geen verschil maakt of men een manteltype dan wel een kerntype met twee spoelen kiest. Een kerntype met één spoel is echter altijd iets ongunstiger.

Welke kernvorm in een bepaald geval verkieslijk is wordt bepaald door de bijkomstige voor- en nadelen van elk type. Belangrijke verschillen tussen beide typen zijn de gemiddelde lengte van de krachtlijnen door het ijzercircuit (korter voor manteltype) en de gemiddelde lengte van een koperwinding (korter voor kerntype).

Manteltype. Hierbij omsluit het ijzer de spoel beter dan bij het kerntype, waardoor het uitwendig lekveld kleiner kan zijn. De twee vensters in het blik betekenen meer materiaalverlies; in sommige gevallen is het echter mogelijk dit materiaalverlies te ontgaan door de uitvalstrookjes als juk te gebruiken (fig. 86).

Bij een goede constructie van de smoorspoel (ijzer-koper verhouding) wordt het aantal windingen kleiner dan bij een kerntype, en dus zullen ook de vensterafmetingen b en c kleiner zijn. Een voordeel hiervan is,

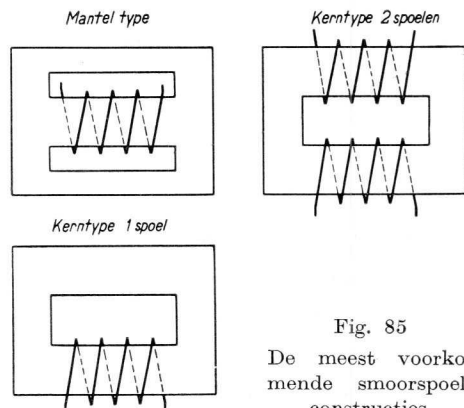


Fig. 85
De meest voorkomende smoorspoelconstructies.

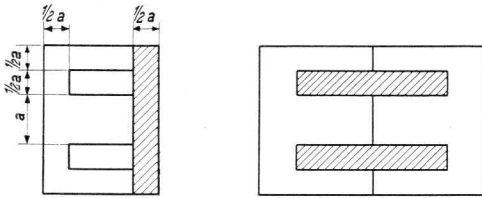


Fig. 86

Kernconstructie zonder materiaalverlies. Door twee E-vormige blikken tezamen te stampen is het mogelijk de gearceerde uitvalstrookjes als juk te gebruiken.

dat het wikkelen van de spoel goedkoop is; een nadeel, dat de luchtspleet (zie paragraaf 9) in de kern, welke evenredig is met n^2 , klein wordt, en bij kleine vermogens dikwijls beneden de grens van het technisch redelijke komt.

Kerntype. Uit het bovenstaande zijn de voor- en nadelen van het kerntype met twee spoelen

t.o.v. het manteltype al duidelijk. Door een kerntype met slechts één spoel te gebruiken, kunnen sommige nadelen worden vermeden ten koste van iets meer materiaalverbruik. Omdat men nu slechts één spoel heeft in plaats van twee in een relatief groot venster, verliest men minder ruimte aan de uitwendige spoelisolatie, zodat de vulfactor F_{Cu} kan worden opgevoerd. De wikkelkosten liggen tussen die van de beide andere mogelijkheden in.

Uitwendige vorm. Als men een compacte smoorspoel wil hebben, welke in een slanke montagerail achter de lamp past, dan is zowel het manteltype als het kerntype met 2 spoelen geschikt. Is er echter iets meer vrijheid in de afmetingen, dan kan met het kerntype met één spoel een elegante oplossing worden bereikt door gebruik te maken van een trapeziumvormige montagekoker, welke verschillende mogelijkheden voor het plaatsn van de lampen biedt (hoofdstuk XI).

§ 8. AFMETINGEN EN KWALITEIT VAN CONDENSATOREN

Een condensator bestaat in principe uit twee geleidende oppervlakken, welke gescheiden zijn door een isolerende laag. Bij de spanningen en frequenties die bij de toepassingen van fluorescentielampen gebruikelijk zijn, bestaat de isolerende laag uit papier van een speciale kwaliteit, en worden de geleidende oppervlakken gevormd door aluminium folie.

De capaciteit van een condensator is bepaald door de formule:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d},$$

waarin A = oppervlak,

d = dikte isolatielaag,

ε = absolute diëlectrische constante.

Het volume dat door een condensator met een capaciteit C wordt ingenomen is hieruit te berekenen, in casu:

$$\text{volume} = \frac{C d}{\epsilon} (d + f),$$

waarin f de dikte van de folie is.

Om bij een gegeven capaciteit kleine afmetingen van de condensator te bereiken, is het nodig d en f klein te maken.

In het verminderen van de dikte van de folie is men beperkt door de technische mogelijkheden; dunner folie dan $6,5 \mu$ is zeer moeilijk te maken.

De dikte d van de papierlaag houdt direct verband met de bedrijfsspanning V waarmee de condensator wordt belast; dunner papier betekent een grotere veldsterkte V/d en een kleinere levensduur. De toelaatbare waarde van V/d wordt bepaald door:

1. de kwaliteit van het papier,
2. het aantal lagen papier,
3. het drogen en impregneren van de condensatorwikkels.

In het kiezen van het papier zijn de belangrijkste punten waarop is te letten gelijkmatige dikte en lage diëlectrische verliezen. Dunne plekken of zelfs gaatjes betekenen zwakke plekken in de isolatie.

Een middel om de invloed van onvermijdelijke foutjes in de gebruikte papiersorten te verminderen, is het onderverdelen van de papierlaag, door twee of meer dunnere papierstroken tezamen op te wikkelen. Bij gelijke totale dikte d kan, indien het aantal lagen wordt vergroot, de veldsterkte worden opgevoerd.

Lage diëlectrische verliezen zijn gewenst met het oog op de warmteontwikkeling in de condensator, welke het gevolg is van deze verliezen en waardoor de bedrijfstemperatuur stijgt. Bij hogere temperatuur nemen de verliezen snel toe, en bij een onjuiste keuze van de papierkwaliteit en de veldsterkte bestaat de mogelijkheid dat de warmteontwikkeling groter wordt dan het warmte-afgiftevermogen van het buitenoppervlak van de condensator, en dat dus geen thermisch evenwicht meer mogelijk is. De temperatuur neemt dan steeds verder toe, tot de condensator defect raakt.

De verliezen in de condensator worden ook vergroot als vocht en lucht in het papier aanwezig zijn. Door de vezelige structuur van het papier is dit in de uitgangstoestand altijd het geval; het is daarom noodzakelijk de condensatorwikkels grondig in vacuüm te ontgassen en daarna het papier te impregneren met bijvoorbeeld olie, om alle aanwezige holten op te vullen.

Bij juiste keuze van de papierkwaliteit en zorgvuldig ontgassen tijdens de fabricage, zijn veldsterkten van ruim 10^5 volt/cm te bereiken en zal

de levensduur praktisch onbeperkt zijn. Om een blijvende vochtvrije toestand van de isolatie te waarborgen, worden de condensatorwikkels ondergebracht in een hermetisch gesloten doos. De vorm van deze doos kan, bij een gegeven volume, betrekkelijk willekeurig zijn; met het oog op de warmteafgifte is een groot oppervlak voordelig.

§ 9. TOLERANTIES

Omdat een gasontladinglamp zonder voorschakelapparaat een onbegrensde stroom doorlaat, wordt het vermogen in de lamp hoofdzakelijk bepaald door het voorschakelapparaat. De aanduiding 40 W op een lamp betekent, dat het de bedoeling is dat de lamp 40 watt opneemt, en het voorschakelapparaat dient om deze 40 watt inderdaad aan de lamp te bezorgen. Doordat verschillen in de lampkarakteristiek voorkomen, heeft de lamp zelf echter nog wel enige invloed op dit cijfer.

Invloed van smoorspoeltoleranties

Als de spreiding wordt verwaarloosd, is de zelfinductie van een smoorspoel:

$$L = \frac{n^2 \cdot A_{\text{Fe}}}{\frac{l_{\text{Fe}}}{\mu} + \delta},$$

waarin l_{Fe} de gemiddelde lengte van het ijzercircuit, δ de luchtspleet en μ de permeabiliteit van het ijzer zijn.

Het aantal windingen kan zeer nauwkeurig worden aangehouden, bijv. op 1^o/₁₀₀ juist.

De ijzerdoorsnede A_{Fe} hangt af van de kernbreedte a , de stapelhoogte h en de vulfactor F_{Fe} .

Practisch komt men hier tot toleranties van ± 2 à 3% .

De lengte van het ijzercircuit is altijd vrij nauwkeurig; de permeabiliteit hangt af van de nauwkeurigheid waarmee de staalfabrikant kan werken; hier treden soms grote verschillen op.

De luchtspleet δ ten slotte wordt bij verschillende kernconstructies nogal verschillend in nauwkeurigheid; meestal kan men rekenen op een tolerantie van $\pm 5\%$ tot $\pm 15\%$.

Alles tezamen genomen zal de zelfinductie, en daarmee de impedantie van de smoorspoel, niet nauwkeuriger aangehouden kunnen worden dan op ongeveer $\pm 15\%$, als geen instelmogelijkheid is aangebracht. Het gevolg zou zijn dat, als een smoorspoel als voorschakelapparaat wordt gebruikt, met een nominale lamp het lampvermogen (bij de gebruikelijke verhoudingen van $\frac{V_{\text{la}}}{V_{\text{n}}}$) ongeveer $\pm 12\%$ varieert.

Dit is nogal veel; daarom wordt een instelmogelijkheid aangebracht waardoor de toleranties van L worden beperkt tot $\pm 7\%$ (lampvermogen $\pm 6\%$). De beste methode om deze instelling te bereiken is een variatie van de luchtspleet; de constructie wordt zodanig gekozen, dat tijdens de fabricage de luchtspleet kan worden bijgesteld, waardoor dan verschillen in n , A_{Fe} en μ worden gecompenseerd.

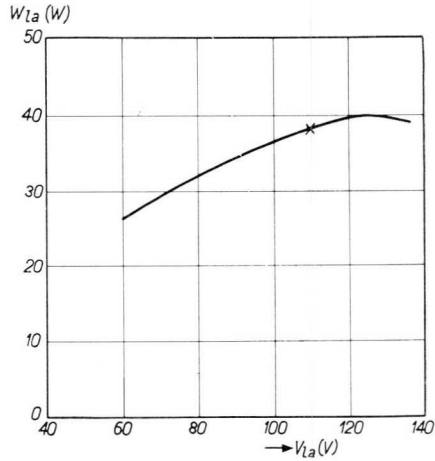


Fig. 87

Invloed van de lamptoleranties

Door verschillen in de $V_{la} - I_{la}$ karakteristiek zullen tussen verschillende lampen onderling variaties in de boogspanning voorkomen als ze op hetzelfde voorschakelapparaat worden aangesloten.

Het lampvermogen, afhankelijk van de lampspanning, bij een bepaalde smoorspoel.

In fig. 87 is het verband tussen V_{la} en W_{la} gegeven zoals dit werd gemeten met behulp van lampen van verschillende lengte en dus verschillende karakteristieken, waarbij dezelfde smoorspoel als voorschakelapparaat werd gebruikt. Omdat het normale werkpunt tamelijk dicht bij de top van de kromme ligt, is de invloed van V_{la} op W_{la} niet zeer groot.

Condensatortoleranties

Condensatoren kunnen tijdens de fabricage op de juiste capaciteit worden gebracht door de lengte van de folie te variëren. Door het droog- en impregneerproces treden daarna afwijkingen op die niet eenvoudig meer gecorrigeerd kunnen worden. De nauwkeurigheid is dan ongeveer $\pm 5\%$. In de meeste gevallen is dit voldoende. Is dit evenwel niet het geval, dan kan bij schakelingen welke behalve een condensator ook een smoorspoel bevatten, de instelmogelijkheid van de smoorspoel worden gebruikt om de condensatorafwijkingen te compenseren.

§ 10. BROMMEN VAN VOORSCHAKELAPPARATEN

Zolang de fluorescentielampen hoofdzakelijk werden gebruikt in fabrieken, winkels en andere ruimten waar steeds al een vrij hoog geluidsniveau heerst, was het geluid dat door de voorschakelapparaten geproduceerd wordt niet van primair belang. In de laatste jaren evenwel neemt het gebruik van fluorescentielampen in stille ruimten, als bibliotheken, zieken-

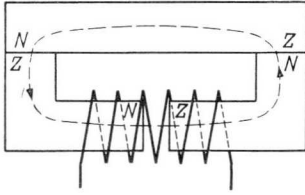


Fig. 88

Magneetpolen in het kerncircuit ten gevolge van luchtspleet en stootvoegen.

huizen en huiskamers hand over hand toe, en in dergelijke ruimten kunnen de voorschakelapparaten zeer storend zijn.

In het geproduceerde geluid zijn twee frequentiegebieden te onderscheiden:

1. 100 - 500 Hz (brommen), de frequenties welke direct worden veroorzaakt door de krachten die in de ijzerkern optreden.

Omdat de krachten evenredig zijn met B^2 , is de grondtoon van het geluid het dubbele

van de netfrequentie, dus is op een net van 50 Hz de grondtoon 100 Hz. Als gevolg van de stroomvervorming komen ook 300 en 500 Hz wel voor, terwijl door trilling van smoorspoelden t.o.v. de ophanging frequentieverdubbeling van de grondtoon kan optreden, waardoor een geluid van 200 Hz ontstaat.

2. Hoger dan 1000 Hz (ritselen). Deze trillingen worden vermoedelijk opgewekt onder invloed van de zeer hoge harmonischen in de lampstroom: deeltjes van kern en spoel kunnen met de frequentie van een der harmonischen of met een eigen frequentie dicht bij een der harmonischen, gaan bewegen. Het onderscheid tussen beide geluidsspectra is van belang, omdat de bromfrequenties liggen in een gebied waar het oor niet zeer gevoelig is, maar waarbij het montagevlak (plafond, muur of armatuur) soms resonantiefrequenties heeft en daardoor de bromtoon belangrijk versterkt, terwijl voor de ritselfrequenties het oor wel gevoelig is, maar de kans op meetrillen van delen van het montagevlak veel kleiner is.

De beste maatregelen tegen hinderlijk geluid zijn hierdoor voor beide frequentiegebieden niet dezelfde.

Beschouwen wij de krachten in smoorspoelen en transformatoren, dan kunnen wij onderscheid maken tussen krachten welke het gevolg zijn van:

1. het hoofdveld,
2. eventuele inwendige lekvelden,
3. magnetostrictie.

Het hoofdveld loopt door de kern en wekt over elke magnetische weerstand een magnetisch spanningsverschil op. Hierdoor ontstaan polen welke elkaar, afhankelijk van het teken, aantrekken of afstoten (fig. 88). Vooral onderbrekingen in het kerncircuit vormen grote magnetische weerstanden; bij smoorspoelen is de meestal noodzakelijke luchtspleet een dergelijke onderbreking. Verder zijn de kernblikken gewoonlijk in twee of meer delen gesplitst, om het mogelijk te maken de spoel om de kern aan te brengen. Daardoor ontstaan kleine luchtspleetjes (stootvoegen), welke eveneens een aanmerkelijke weerstand hebben.

Bij een luchtspleet of stootvoeg trekken de kerndelen elkaar aan met een kracht die evenredig is met

$$B^2 \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} B^2 (1 - \cos 2 \omega t),$$

en dus met het dubbele van de netfrequentie fluctueert tussen 0 en een topwaarde evenredig met B^2 .

Het inwendige lekveld ontstaat ten gevolge van de magnetische spanningsverschillen welke het hoofdveld over kerndelen opwekt. Tussen punten met verschillende magnetische potentiaal gaan krachtlijnen lopen, en deze wekken weer krachten op de spoel op.

Magnetostrictie is het effect, dat bij magnetisatie van het kernmateriaal kleine lengteveranderingen optreden, die, afhankelijk van de materiaal-samenstelling en van de inductie, positief of negatief kunnen zijn. Is het veld een wisselveld, dan ontstaan daardoor trillingen die weer de dubbele frequentie hebben van de netfrequentie.

Om de door de smoorspoel of de transformator opgewekte geluidenergie klein te houden, moeten de krachten zo klein mogelijk worden gehouden en dient de stijfheid van de constructie zo groot mogelijk te worden gemaakt. Kleine krachten bereikt men door:

1. magnetische potentiaalsprongen te vermijden, dus door geen luchtspleten en stootvoegen toe te passen.

De invloed van de niet oneindig grote permeabiliteit μ van het kernmateriaal kan men ontgaan door de kern over haar gehele lengte gelijkmatig te bewikkelen.

Door de genoemde maatregelen bereikt men tevens dat geen lekveld optreedt.

Jammer genoeg, is een constructie zonder stootvoegen en met gelijkmatig bewikkelde kern technisch moeilijk uitvoerbaar en daarom kostbaar. Bovendien is bij smoorspoelen een luchtspleet praktisch onvermijdelijk.

2. de inductie B laag te houden. Omdat de krachten, en dus de amplituden, evenredig zijn met B^2 , is de geluidsenergie evenredig met B^4 .

Om een hoorbaar geluidsverschil (3 db) te bereiken, is een inductieverlaging van ca. 20% noodzakelijk, waardoor de afmetingen van het voorschakelapparaat merkbaar toenemen. Ook op deze wijze is een flinke verlaging van het geluidsniveau nogal kostbaar.

Grote stijfheid kan men bereiken door:

1. de invloed van de stootvoegen klein te houden door de kernblikken a-symmetrisch te delen en afwisselend naar de ene of de andere zijde in de spoel te schuiven, zodat de stootvoegen verspringen (fig. 89) en de kerndelen bij beweging t.o.v. elkaar grote wrijvingskrachten moeten overwinnen.

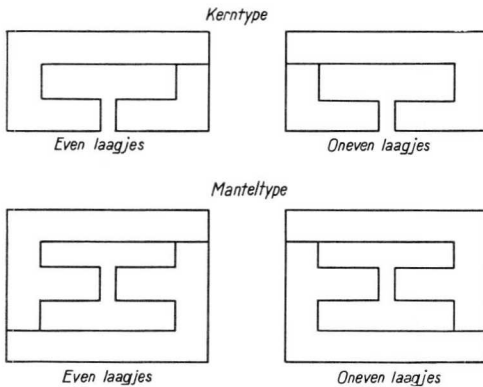


Fig. 89

Voorbeelden hoe men bij een kern- en bij een manteltype de stootvoegen kan laten verspringen.

lijkelijk geluidsniveau ontstaan: door meetrillen van montagevlak of armatuur, en wel onder invloed van:

1. mechanisch overgedragen en door het montagevlak versterkte trillingen,
2. een uitwendig magnetisch lekveld.

De mechanisch overgedragen trillingen kunnen zoveel mogelijk worden beperkt door de smoorspoel bij de bevestiging aan te grijpen in punten met de kleinste amplitude, en door de ophanging van de smoorspoel slap te maken. Er moet hier op worden gewezen, dat de voor de hand liggende oplossing, het voorschakelapparaat op rubber te monteren, lang niet altijd verbetering geeft, hoe eenvoudig het ook lijkt.

De invloed van het eventueel aanwezige lekveld kan worden verminderd door het voorschakelapparaat in een ijzeren doos van voldoende wanddikte (ca. 1 mm) te monteren en deze doos te vullen met een gietmassa (bijv. compound), om trillingen van de doos te dempen. De mechanische overdracht van trillingen van de smoorspoel op de doos kan door deze gietmassa ook enigszins worden verminderd.

Omdat de geluidsenergie die een voorschakelapparaat (zelfs een van slechte kwaliteit) levert, zeer gering is, is het niet eenvoudig deze te meten. Bruikbare methoden hiertoe zijn:

2. de kernvorm gunstig te kiezen;
3. dikke blikken te gebruiken;
4. met speciale kittens en lakken de kern delen stevig aan elkaar te bevestigen.

Volgens bovenstaande richtlijnen kan men een smoorspoel of transformator maken die zelfs in zeer stille ruimten praktisch onhoorbaar is op enkele cm afstand van het oor, als het apparaat vrij in de ruimte is opgehangen.

Bij praktische toepassingen kan er nu toch weer een hinderlijk

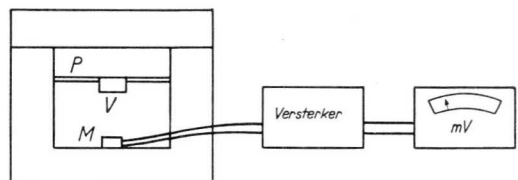


Fig. 90

Schematische voorstelling van een opstelling voor directe geluidsmeting.

- V = voorschakelapparaat
 P = plaat waaraan V soepel is opgehangen
 M = microfoon

1. een directe geluidsmeting aan een in rubber opgehangen voorschakelapparaat met behulp van een microfoon en versterker. Om het altijd aanwezige omgevingsgeluid af te schermen, kan het apparaat met de microfoon in een dikwandige betonnen doos worden ondergebracht (fig. 90). Met behulp van een oscilloscoop kan het geluidsbeeld zichtbaar worden gemaakt, en de amplitude kan worden gemeten met een voltmeter.

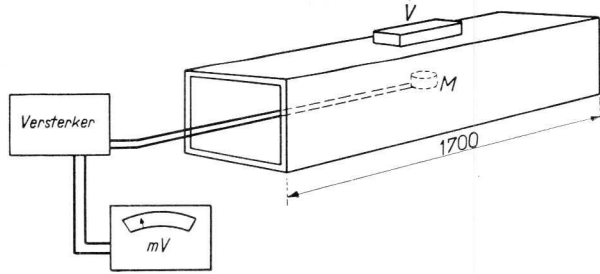


Fig. 91

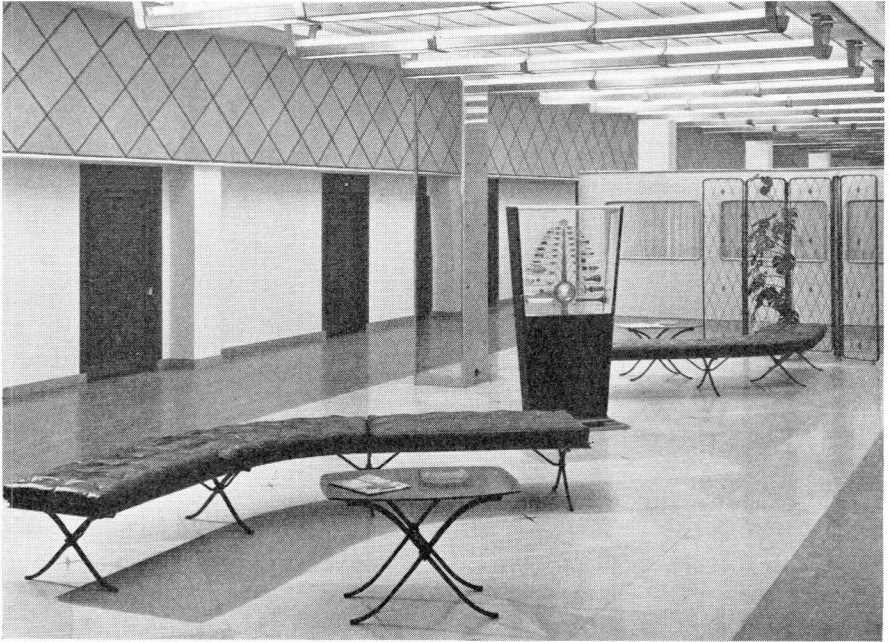
Schematische voorstelling van een opstelling voor geluidsmeting met een resonantiepijp.

V = voorschakelapparaat
M = microfoon

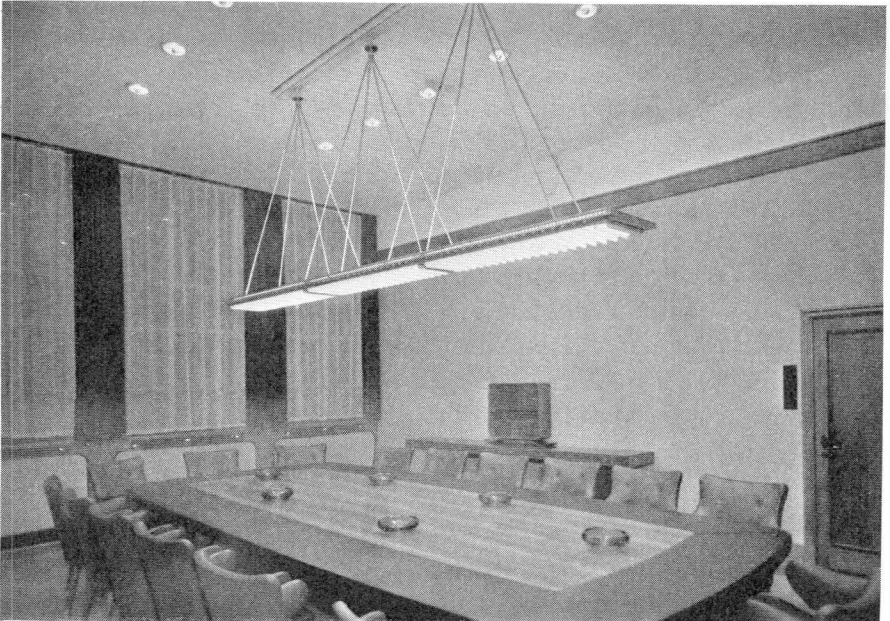
Een gevoelige microfoon en een grote versterking zijn nodig, zodat zeer goed gelet moet worden op afscherming van elektrische en magnetische stoorvelden.

2. het gebruik van een resonantiepijp (fig. 91). Door het voorschakelapparaat te monteren op een resonantiepijp die is afgestemd op 100 Hz, wordt een directe versterking van het geluid verkregen, waardoor de versterking achter de microfoon minder groot kan zijn. Een ander voordeel van deze methode is, dat de opstelling goed bij de practijk aansluit; een nadeel is echter dat eventuele andere frequenties in het geluid niet of weinig worden versterkt en dus niet worden gemeten.

3. plaatselijke meting van de trillingen met behulp van een trillingsopnemer. Het is hierbij niet eenvoudig, een beeld van het totale geproduceerde geluid te verkrijgen; voor het opsporen van punten met grote amplituden en het onderzoeken van het effect van maatregelen om deze amplituden te verkleinen, is deze methode echter zeer geschikt. Bovendien kan men er punten met kleine amplitude mee opsporen, welke geschikt zijn om het voorschakelapparaat aan te bevestigen.



Hall. Combinatie van daglicht en kunstlicht;
buislampen TL-40 W; kunstlicht 300 lux. 750 lm/m².



Conferentiekamer.

12 buislampen TL-S 40 W in speciaal ornament, ballast-gloeilampen in het plafond.

IR. L. M. C. TOUW

ARMATUREN VOOR FLUORESCENTIELAMPEN

§ 1. INLEIDING

Wil men op grond van verscheiden, in andere hoofdstukken genoemde overwegingen, een verlichtingsinstallatie maken met behulp van fluorescentielampen, dan moet men hiervoor de beschikking hebben over armaturen die voor dit soort lichtbronnen geschikt zijn. Uit de aard der zaak wijkt, als gevolg van de grote afmetingen en de noodzakelijkheid de elektrische accessoires onder te brengen, de vorm en de constructie van armaturen voor TL-lampen sterk af van die voor gloeilampen. Behalve dat rekening moet worden gehouden met de wensen van de architect, die in het hoofdstuk van Ir Kalff nader zijn omschreven, alsmede met de smaak van de gebruiker, zal men dus bij het ontwerpen van TL-armaturen moeten letten op de volgende punten, die achtereenvolgens hieronder zullen worden behandeld:

- 1) de lichttechnische eisen,
- 2) het onderbrengen van de elektrische accessoires,
- 3) de vorm in verband met de toepassing,
- 4) de montage,
- 5) het onderhoud.

§ 2. DE LICHTTECHNISCHE EISEN

Bij het ontwerpen van een armatuur dient men in de eerste plaats na te gaan, in wat voor ruimten het zal worden gebruikt. Het is duidelijk, dat men, niet alleen op aesthetische gronden, maar ook om lichttechnische redenen, in een kantoorgebouw een ander armatuur verlangt dan in een fabriek, werkplaats of tekenkamer. Bij het ontwerpen moet dus bekend zijn voor welk gebruik het armatuur bestemd is. De lichttechnische eisen die men aan een goed TL-armatuur mag stellen, staan in zeer nauw verband met de gehele verlichtingstechniek en de helderheidstechniek. Aldus komt men tot de volgende punten, die bij het ontwerpen van belang zijn:

a. Wil men een ruimte waarin een aantal personen werken, verlichten, dan moet de verlichtingsinstallatie zodanig zijn, dat de werkers geen

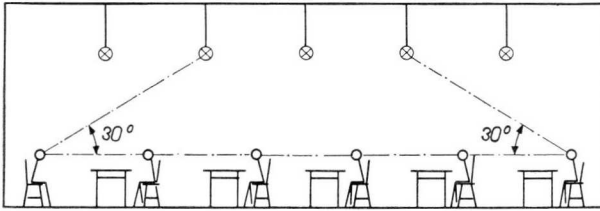


Fig. 92

hinder ondervinden van de lichtbronnen. Hierbij speelt de helderheid van deze lichtbronnen een belangrijke rol. Iedere werker (zie fig. 92) kijkt tijdens de ar-

beid, bewust of onbewust, zo nu en dan van zijn werk op. Komen hierbij enige lichtbronnen van een te hoge helderheid in zijn gezichtsveld, dan wordt hij verblind, omdat de helderheid van de lichtbronnen vele malen groter is dan die van het werkvlak. Dit geldt in hoge mate voor gloeilampen die onafgeschermd zijn gemonteerd. Ook de helderheid van TL-lampen is te hoog om zonder bijzondere maatregelen te kunnen worden getolereerd. Men mag aannemen, dat een werker in een normale positie niet hoger kijkt dan in een hoek van 30° met de horizontaal. Dit betekent, dat de helderheid van de lichtbronnen in deze hoek in die mate moet worden verlaagd, dat de lampen geen hinder door verblinding meer opleveren. Het is duidelijk, dat het van de plaatsing van de verschillende werkers in de ruimte afhangt, of dit in één of in meer richtingen noodzakelijk is. Zo worden in schoollokalen, tekenzalen e.d., de lichtbronnen slechts in één richting tegen het inkijken afgeschermd. In ruimten waar op verschillende kijkrichtingen moet worden gerekend, zullen de lampen zowel in langs- als in dwarsrichting worden afgeschermd. Bij gloeilampen reduceert men de helderheid van de lichtbronnen door het uitstralende oppervlak te vergroten (ballons van diffuus glas), of schermt men de lichtbronnen onder bepaalde hoeken geheel af door metalen afschermmiddelen (de bekende „breed- of diepstralers”, die men nog zeer veel gebruikt in fabrieken e.d.). Wegens de lengte van de TL-lampen en de grote omvang van de armaturen zal men nu andere maatregelen moeten nemen.

De helderheid van de TL-lampen kan men, evenals bij de gloeilampen, verlagen door er diffuse matglazen platen voor te plaatsen. Een andere maatregel is de lampen door metalen platen aan het oog te onttrekken.

Met betrekking tot armaturen voor 1 TL-lamp, die slechts een afscherming in een richting loodrecht op die van de lamp behoeven, is het probleem eenvoudig. Door gebruik te maken van zijschotten van gematteerd glas

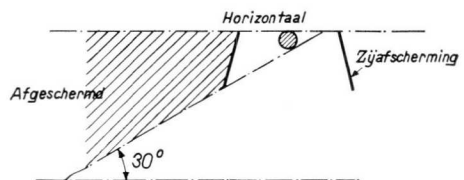


Fig. 93

of metaal, zoals aangegeven in fig. 93, wordt de lamp in een hoek van 0 - 30° voor het oog afgeschermd. Beschouwt men nu een armatuur voorzien van 4 TL-lampen, dan is het duidelijk dat deze oplossing niet meer mogelijk is, omdat de hoogte van de zijschotten te groot wordt (zie fig. 94).

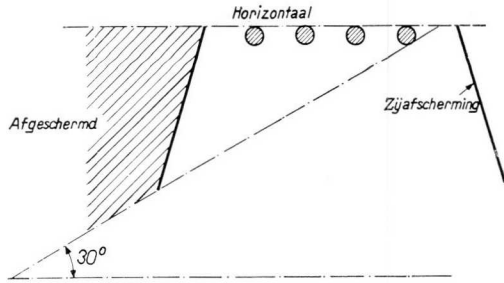


Fig. 94

Het is theoretisch mogelijk het armatuur ook aan de onderzijde van glazen platen te voorzien. Om verschillende praktische redenen zal men hier slechts in enkele gevallen toe overgaan. Liever brengt men een afscherming aan de onderzijde tot stand door middel van een aantal kleine schotjes, die tezamen evencens een hoek van 0 - 30° afschermen (zie fig. 95). De schotjes kunnen bestaan uit metaal of uit een half doorlatend materiaal (plastic).

Ditzelfde is mogelijk in de lengterichting van de TL-lampen. Omdat de oppervlaktehelderheid van de lampen in deze richting kleiner is dan die loodrecht op de lampen, accepteert men hier een kleinere afschermhoek, nl. 20 à 25°. Aldus ontstaat aan de onderzijde van het armatuur een rooster met langwerpige vakken (zie fig. 96), het z.g. lichtrooster, vroeger aangeduid met het Frans-Engelse woord „louvre”. Een gedeelte van het licht dat door de lampen naar beneden wordt uitgestraald, valt direct en ongehinderd door de mazen van het rooster heen. Een ander gedeelte valt echter op de zijkant van de schotjes en wordt dus naar beneden gereflecteerd. Om deze reden is het noodzakelijk, dat het reflectievermogen van de schotjes zo groot mogelijk is, om welke reden men de schotjes een witte of nagenoeg witte kleur geeft.

De afmetingen a, b en h liggen, zoals uit fig. 96 blijkt, in een bepaalde verhouding ten opzichte van elkaar. In de keuze van de absolute maat voor a, b en h is men, als men de afmetingen aan wil passen aan die van de gehele constructie, binnen redelijke grenzen vrij. Worden de afmetingen

van de mazen echter te klein, dan gaat de materiaaldikte van de schotjes een te grote rol spelen en wordt hierdoor een te groot lichtverlies veroorzaakt. Zijn de afmetingen daarentegen

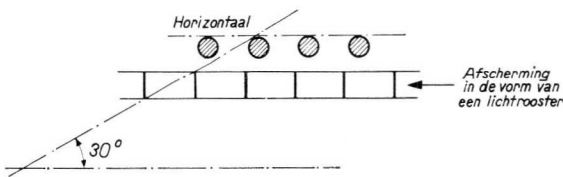


Fig. 95

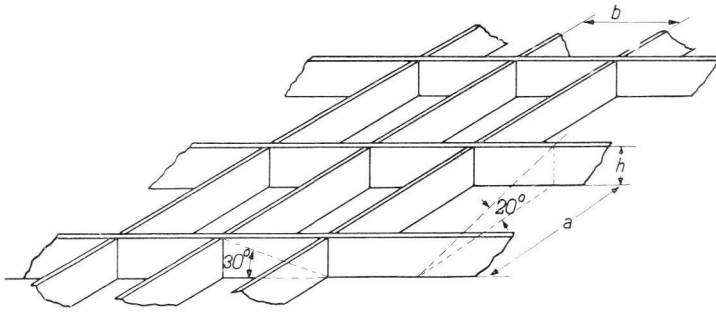


Fig. 96

te groot, dan zal de constructie te slap zijn en heeft men niet meer de garantie dat de schotjes een strakke, rechte lijn vertonen. Figuur 97 geeft een over-

zicht van de onderdelen van een bepaald armatuur; het lichtrooster is hierop zeer duidelijk te onderscheiden.

Op grond van aesthetische of praktische motieven kan het patroon van het lichtrooster zonder bezwaar worden gewijzigd, mits de gewenste afschermhoeken in acht worden genomen (zie fig. 98).

Het systeem waarbij een aantal schotjes achter elkaar worden geplaatst kan worden gebruikt voor het afschermen van één of meer TL-lampen

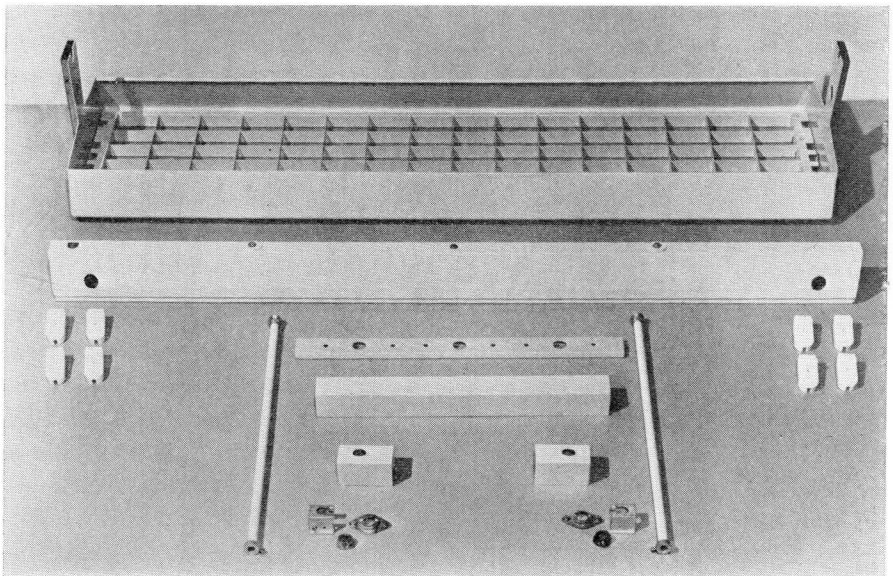


Fig. 97

Overzicht van de verschillende onderdelen van een armatuur. Van achter naar voren ziet men het lichtrooster, de montagebalk met lamphouders en de ophanginrichting.

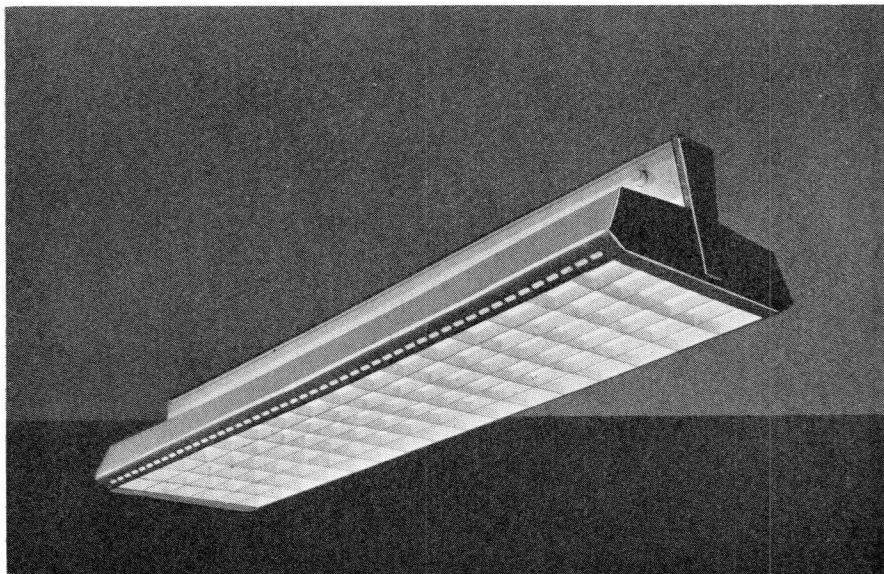


Fig. 98

Armatuur met rechthoekig lichtrooster.

alleen in de lengterichting (bijv. in gangen e.d.). In dit geval plaatst men alleen een aantal schotjes dwars op de lengterichting van de lamp (zie fig. 99 en 100).

Behalve aan de onderzijde van het armatuur, moeten de TL-lampen ook van opzij tegen inkijken worden afgeschermd. Bij het construeren van de zijwanden van het armatuur verdienen de volgende overwegingen onze aandacht. Het armatuur wordt in het algemeen gemonteerd tegen, of door middel van buizen opgehangen aan een plafond van een lichte kleur, dat door de TL-lampen wordt verlicht en daardoor een zekere helderheid krijgt. Evenzo heeft het hierboven beschreven lichtrooster een helderheid die uit de aard der zaak vrij hoog is. Om het uiterlijk van een verlichtingsinstallatie zo rustig mogelijk te doen zijn, is het noodzakelijk de helderheid van de diverse onderdelen van het armatuur, die van het plafond en van de muren, op elkaar af te stemmen. Voorziet men dus het armatuur van een zijwand die geen licht doorlaat en waarop evenmin op

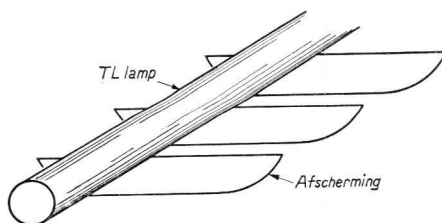


Fig. 99

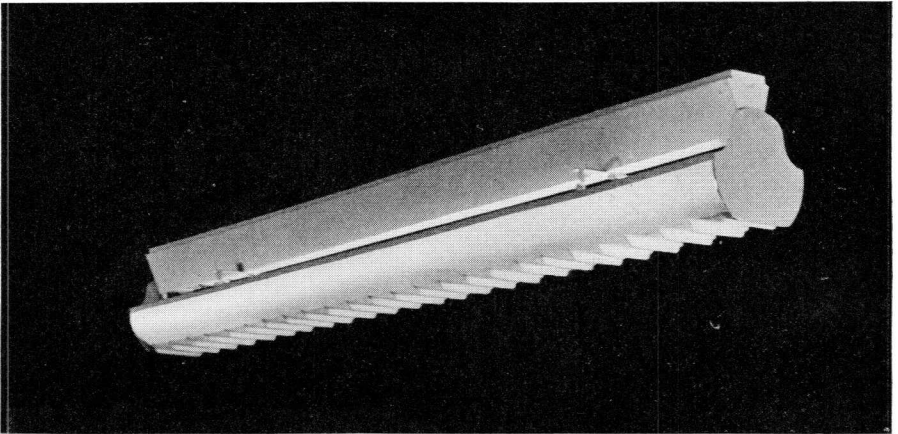


Fig. 100

Armatuur voor 1 TL-lamp, waarbij de lamp in de lengterichting wordt afgeschermd door een aantal schotjes, loodrecht op de lengterichting. Bovendien heeft dit armatuur een zijafscherming.

een andere wijze licht valt, dan wordt de buitenzijde ervan donker en ontstaan aldus te grote contrasten in de helderheid van de zijwand en de andere onderdelen van de constructie. Zoveel mogelijk streeft men er dus naar de buitenzijde der zijwanden zó licht te maken, dat de helderheid in overeenstemming is met die van de rest van de constructie, echter met deze beperking dat zij voldoende laag is om niet storend voor het oog te werken. Dit is in de eerste plaats mogelijk door toepassing van licht doorlatende materialen, als gematteerd glas en plastic, die een doorlatingscoëfficiënt hebben van 50 - 70% (zie fig. 101 en 102).

Heeft men om bepaalde redenen bezwaren tegen deze materialen, dan kan men ook met geheel metalen zijwanden goede resultaten bereiken. Hiertoe geeft men de zijwand een zodanige profilering, dat zijn buitenzijde door reflectiewerking wordt verlicht. Enige voorbeelden ziet men in de fig. 103, 104 en 98.

b. Zoals reeds werd opgemerkt, is het bij het ontwerpen van een armatuur belangrijk te weten, in wat voor ruimten en op welke wijze het armatuur zal worden gebruikt. Enerzijds is er dus een splitsing te maken tussen armaturen, bestemd voor de verlichting van:

- kantoren (zie fig. 98, 101),
- winkels,
- winkeletalages (zie fig. 106),

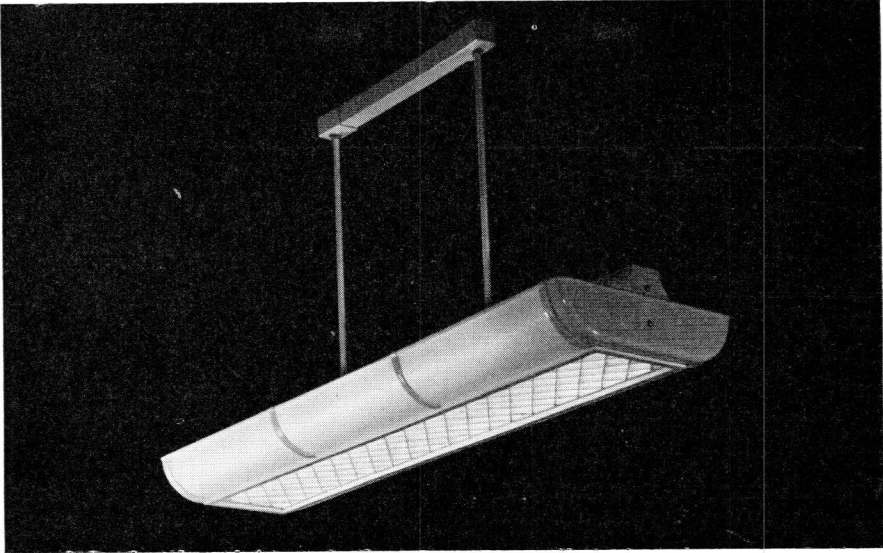


Fig. 101

Armatuur met een ruitvormig lichtrooster en een zijafscherming van „Plastocel” materiaal in de vorm van gebogen platen in metalen steunen.

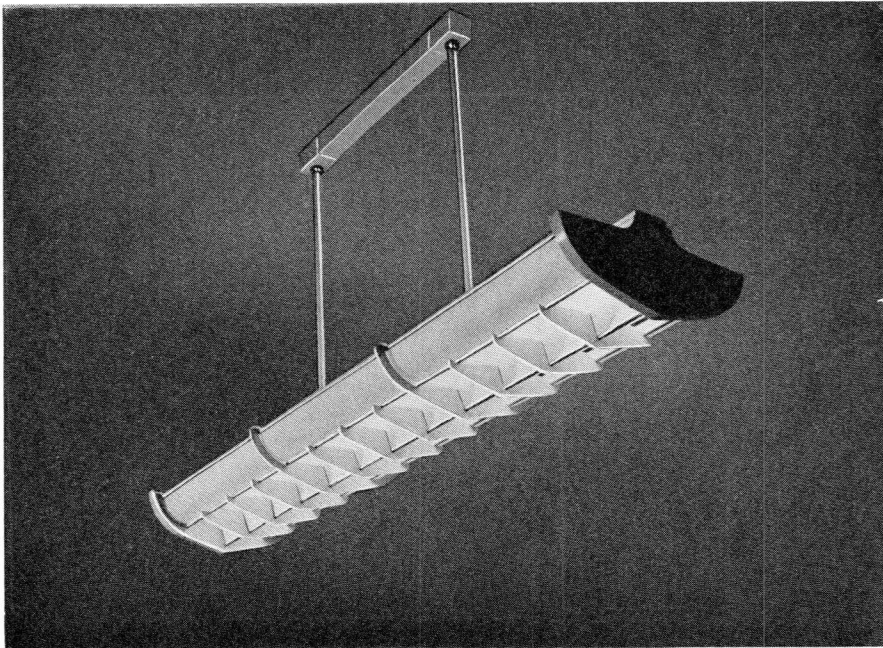


Fig. 102

Armatuur met een langsafscherming van schermplaten en een dwarsafscherming van „Plastocel” materiaal.

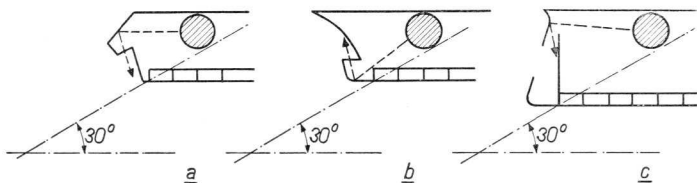


Fig. 103

woonhuizen,
 restaurants,
 straten en verkeerswegen (zie fig. 105),
 etalages e.d. (zie fig. 106),
 fabrieken (zie fig. 107),
 terwijl het anderzijds van belang is te onderscheiden tussen armaturen die bestemd zijn voor algemene verlichting (zie vorige fig.) en armaturen welke dienen voor plaatselijke verlichting (zie fig. 108).

Van een armatuur voor werktafelverlichting verlangt men dat zoveel mogelijk van het door de lampen uitgestraalde licht op het werkvlak wordt geworpen, terwijl bij een armatuur voor algemene verlichting het licht ook naar boven en opzij zal moeten kunnen uitstralen. Dit houdt in, dat de lichtverdelingskarakteristieken van deze armaturen een wezenlijk verschil vertonen. Onder de „lichtverdelingskarakteristiek” van een armatuur verstaat men een grafische voorstelling die aangeeft hoe groot in een bepaald vlak door het centrum van het armatuur de lichtsterkten (in kaars) in de verschillende richtingen zijn. Over het algemeen interesseren wij ons slechts voor de lichtverdeling in verticale vlakken door het centrum van het armatuur. Bij een alzijdig symmetrisch armatuur (gloeilamp-armatuur) zal de lichtverdeling in alle verticale vlakken gelijk zijn. Bij de TL-armaturen met hun langerekte vorm zal de lichtverdelingskarakteristiek voor

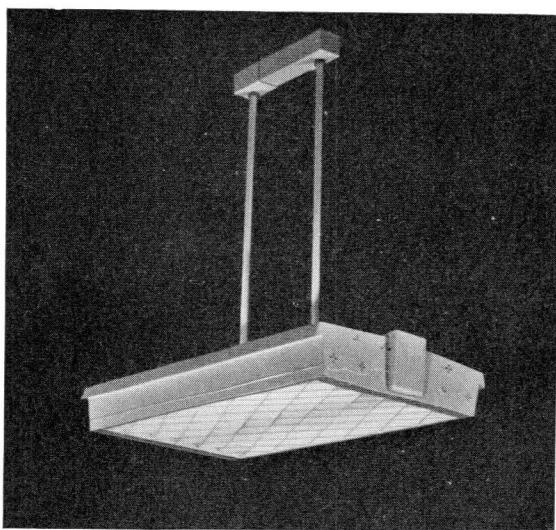


Fig. 104

Armatuur met een geheel metalen zijwand, die verlicht wordt door reflecties van het licht.

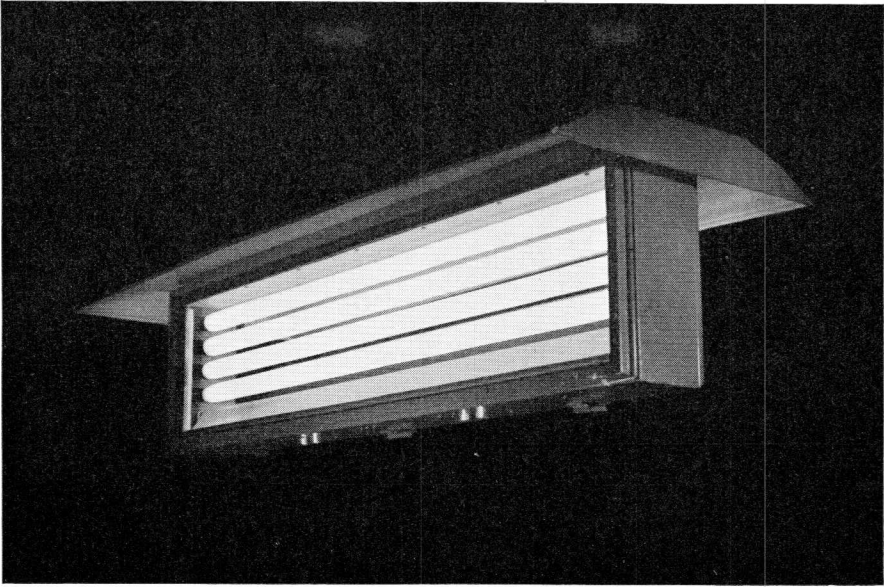


Fig. 105

Armatuur voorzien van 4 TL 40, bestemd voor verlichting van straten.

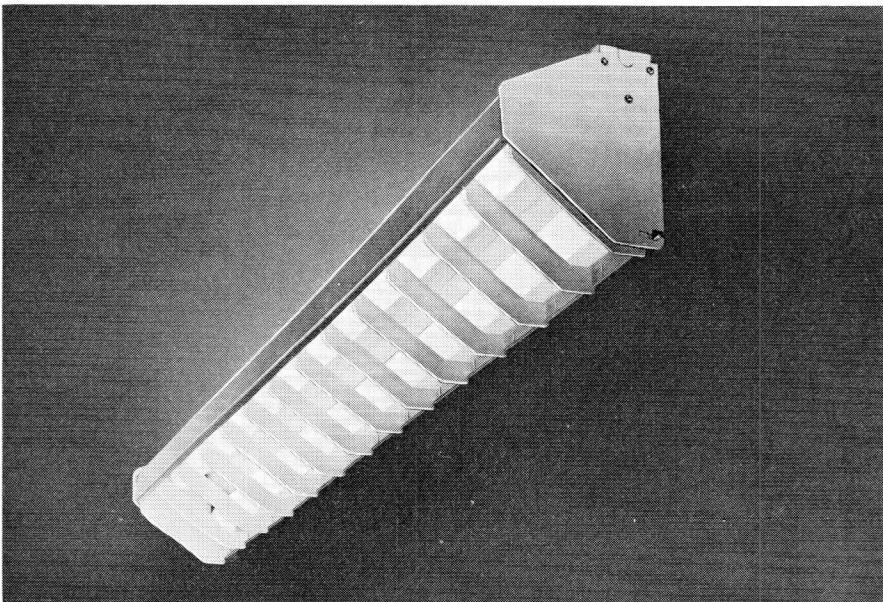
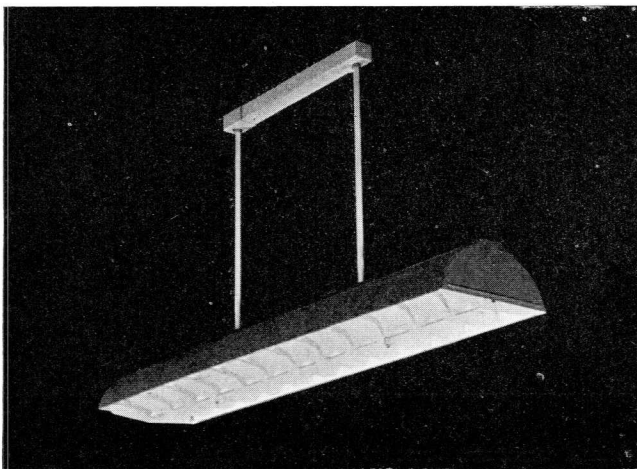
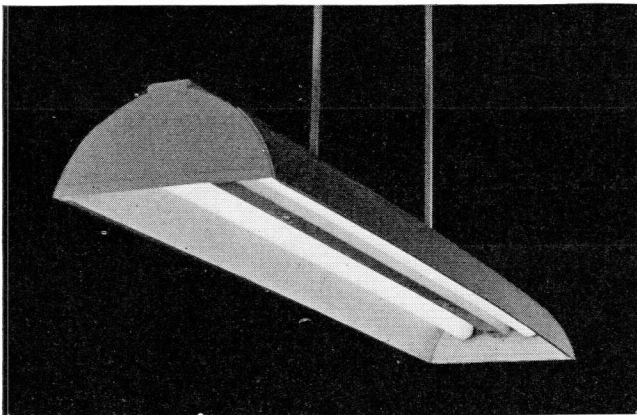
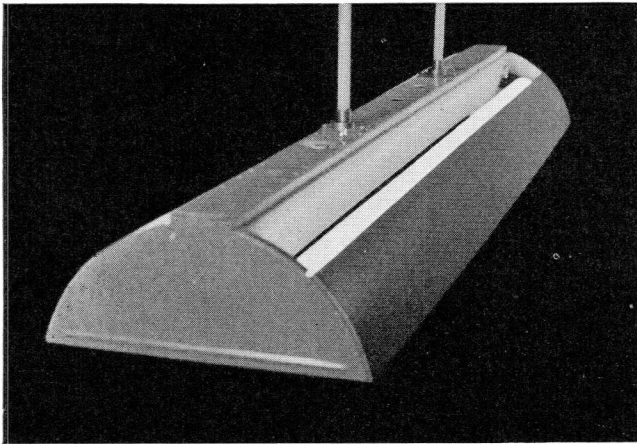


Fig. 106

Asymmetrisch armatuur, bestemd voor etalages e.d.



een vlak loodrecht op de lampen een andere vorm vertonen dan vooreen vlak in de langsrichting van de lampen.

De lichtverdelingskarakteristiek hangt nauw samen met de gehele vorm van het armatuur. Door de vormgeving heeft men het dus in de hand de lichtverdeling te verkrijgen die men voor een bepaald doel nodig heeft (zie fig. 109).

Aan de hand van de lichtverdelingskarakteristiek kan men de indeling maken zoals is weergegeven in fig. 110. Uit de lichtver-

Fig. 107

Armatuur, bestemd voor de algemene verlichting van fabrieken en werkplaatsen. Het armatuur heeft aan de bovenzijde openingen, waardoor een gedeelte van het licht op het plafond valt, en is voorzien van een lichttrooster.

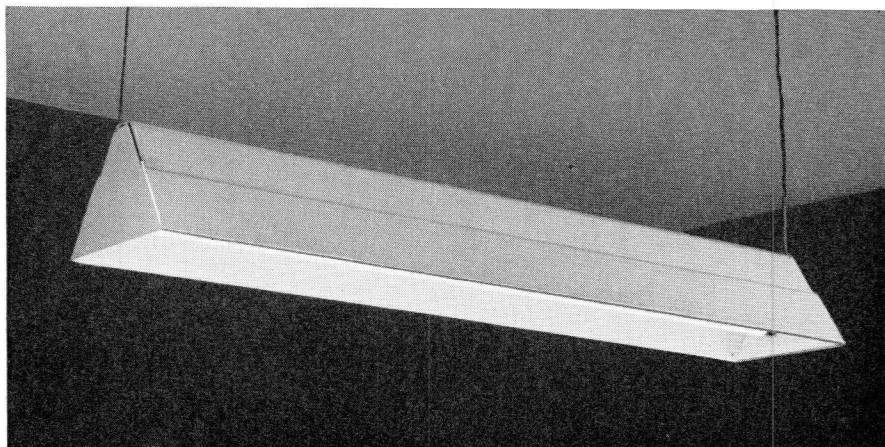


Fig. 108

Armatuur, bestemd voor plaatselijke verlichting.

delingskarakteristieken bepaalt men door integratie hoeveel licht door het armatuur in totaal naar boven en hoeveel naar beneden wordt uitgestraald, d.w.z. de lichtstroom van het armatuur (in lumens) is bekend. Aangezien ook de lichtstroom van de lampen in het armatuur bekend is, kan het rendement van het armatuur worden bepaald. Het quotiënt van de lichtstroom van het armatuur (in lumens) en de lichtstroom van de onafgeschermdde lampen (eveneens in lumens) noemt men nl. het rendement van het armatuur (in %). Zo spreekt men ook van het rendement voor de bovenste hemisfeer en het rendement voor de onderste hemisfeer (dit zijn de quotiënten van de door het armatuur boven, resp. onder de horizontaal uitgestraalde lichtstroom, en van de door de lampen uitgezonden lichtstroom. Het

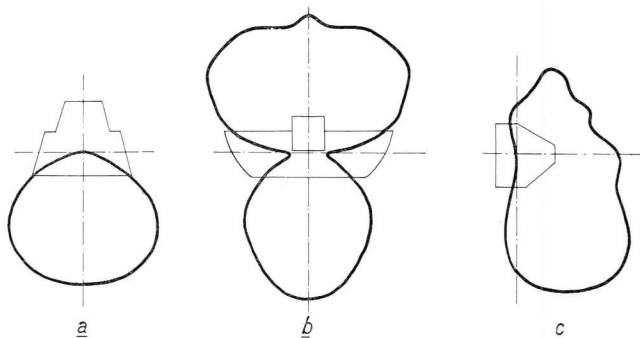
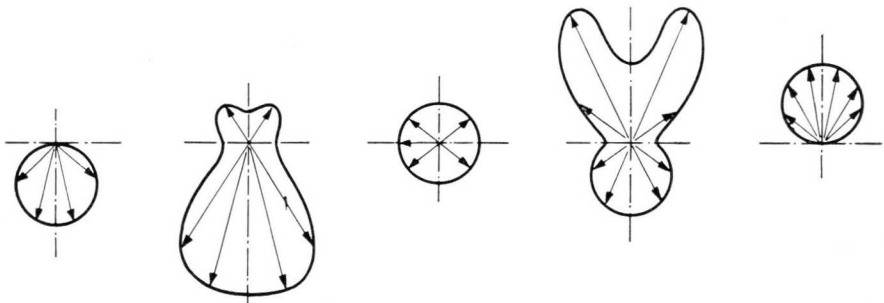


Fig. 109

- Lichtverdelingskarakteristiek voor trogarmatuur voor plaatselijke verlichting (vgl. fig. 108).
- Id. voor armatuur voor algemene verlichting van kantoren e.d. (vgl. fig. 101).
- Id. voor asymmetrisch armatuur, bestemd voor schoollokalen enz. (vgl. fig. 106).



Direct

Overwegend direct

Gemengd

Overwegend indirect

Indirect

Fig. 110

begrip armatuurrendement is belangrijk, omdat direct en duidelijk blijkt, welk percentage van het door de lampen uitgestraalde licht verloren gaat door het gebruik van een armatuur.

De verliezen, veroorzaakt door het aanbrengen van het lichtrooster, de zijwanden en een bedradingskoker (zie hieronder), zijn over het algemeen vrij groot en liggen tussen 50 en 20%. Armaturen die het licht in één richting werpen, en waarvan de afmetingen niet groot zijn t.o.v. die der lampen (trogarmaturen fig. 8a) hebben een laag rendement (50 à 55%), omdat niet ten volle profijt wordt getrokken van het door de lampen uitgestraalde licht. Armaturen daarentegen, die zeer open zijn geconstrueerd, hebben een hoog rendement, dat echter de 80% niet zal overschrijden. Lichtroosters veroorzaken een verlies dat ligt tussen de 15 en de 20%. Bij het construeren van een armatuur is het noodzakelijk te komen tot een compromis tussen de eisen van afscherming (zijwanden en lichtrooster), constructie (bedradingskoker enz.) en rendement. Men blijft met het verlies binnen redelijke grenzen als het rendement 70 à 75% bedraagt.

§ 3. HET ONDERBRENGEN VAN DE ELECTRICHE ACCESSOIRES

Zoals uit andere hoofdstukken blijkt, zijn over het algemeen voor de aansluiting van iedere TL-lamp nodig:

2 lamphouders,

1 starter met starterhouder,

1 voorschakelapparaat, al of niet gecombineerd met een condensator.

Een complicatie van de TL-lamp t.o.v. de gloeilamp is bovendien, dat de lamp wegens haar grote lengte op twee plaatsen moet worden gesteund, en dat de elektrische aansluiting aan de beide uiteinden tot stand moet worden gebracht.

De ondersteuning en de elektrische aansluiting van de lamp aan de uit-

einden maken het noodzakelijk in het armatuur een balk aan te brengen waarop de lamphouders kunnen worden gemonteerd en waardoorheen de bedrading kan worden gevoerd. Aanvankelijk heeft men de oplossing in deze richting gezocht, dat men het armatuur als „ruggegraat” een U-vormig balkje gaf (zie fig. 111). Aan de uiteinden hiervan waren de lamphouders gemonteerd, terwijl op enige afstand, ter weerszijden van het midden, buizen konden worden bevestigd, waarmee het geheel aan het plafond werd opgehangen. Het balkje zelf kan als basis voor verschillende soorten armaturen dienen (zie fig. 112). De starterhouders werden hierbij op het balkje geplaatst, terwijl men de voorschakelapparaten in een doos tegen het plafond onderbracht.

Een groot nadeel van dit systeem is, dat de installateur het armatuur niet kant en klaar ontvangt, en dat hij verplicht is de aansluiting van de voorschakelapparaten ter plaatse tot stand te brengen. Behalve dat men hiervan in de praktijk veel ongemak ondervindt, is, vooral bij meer ingewikkelde bedradingsschema's, de kans op het maken van fouten zeer groot. Bovendien wordt de bedrading extra gecompliceerd als men de voorschakelapparaten ver verwijderd van de TL-lampen aanbrengt.

Een en ander heeft geleid tot het ontwerpen van een koker waarin alle elektrische accessoires worden opgenomen. Deze koker, de NP-montagekoker (zie fig. 113), wordt in de fabriek geheel bedraad en dus kant en klaar geleverd. De balk heeft uitvoeringen voor 1 t.m. 4 lampen en voor verscheiden lampvermogens. De voorschakelapparaten worden in het inwendige van de koker gemonteerd en zijn voor de klant ontoegankelijk. De lamphouders kunnen in verschillende standen op de koker

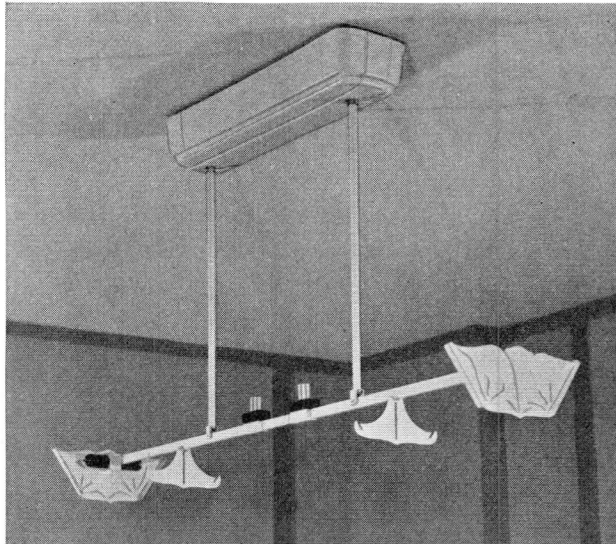


Fig. 111

Armatuur, bestaande uit een dunne U-vormige balk. De voorschakelapparaten zijn ondergebracht in de doos tegen het plafond. De glasplaten, die als zijafscherming fungeren, zijn hier weggelaten (vgl. fig. 112).

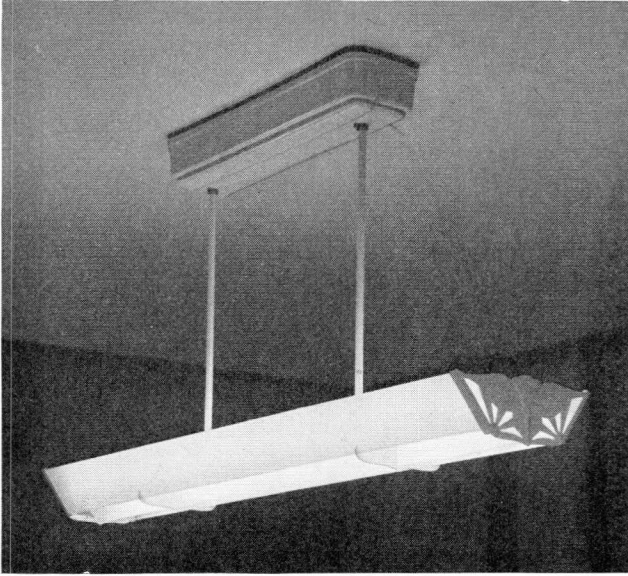


Fig. 112

Armatuur van figuur 111, gecompleteerd met glasstroken.

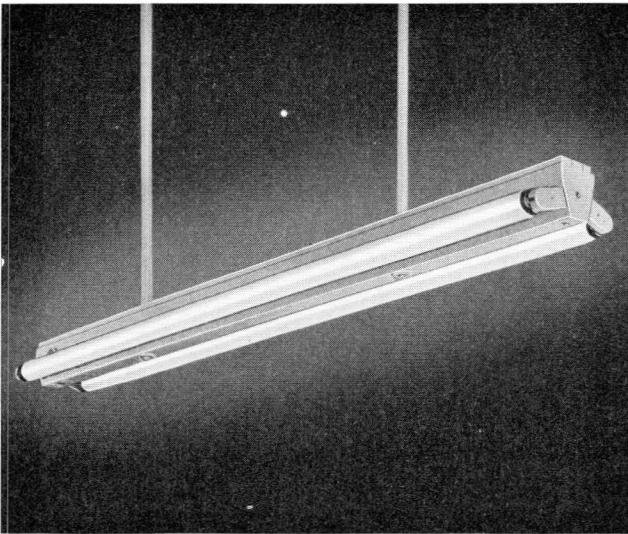


Fig. 113

Voorbeeld van een NP-koker, gemonteerd aan ophangbuizen en voorzien van 2 TL-lampen.

worden gemonteerd (zie fig. 114) en zijn door de installateur op zeer eenvoudige wijze op de uiteinden van de koker te bevestigen en aan te sluiten. Voor de 1-, 2- en 3-lamps uitvoering geschiedt dit onmiddellijk op de koker (zie fig. 115); bij de 4-lamps uitvoering worden de lamphouders op een brugstukje (adaptor) geplaatst.

De starterhouders zijn in de koker ingebouwd. De starters worden door gaten in de kokers in de starterhouders gebracht.

De montage van deze koker, die nu, behalve als bergplaats voor de elektrische apparatuur, dienst doet als draagbalk voor het gehele armatuur, is zeer eenvoudig. De koker is nl. voorzien van een losse bovenrail, waaraan hij met twee schroeven is bevestigd;

deze schroeven zijn aan de onderzijde van de balk bereikbaar.



Fig. 114

Wijzen van monteren der lamphouders op de NP-koker.

De elektrische aansluiting op het net geschiedt door middel van twee, aan verende contactbussen bevestigde klemmen. Deze verende bussen maken contact met twee plaatjes op de koker, wanneer deze door middel van de twee schroeven tegen de bovenrail wordt aangebracht (zie fig. 116). De bovenrail heeft een aantal kleine gaten, zodat hij door middel van schroeven aan het plafond kan worden bevestigd (zie fig. 117). Wil men het armatuur aan buizen ophangen, dan vindt men in de bovenrail een aantal uitbreekpoorten, waarin de buizen kunnen worden aangebracht. De NP-koker heeft aan beide uiteinden een drietal schroefgaten, waaraan een armatuur van iedere gewenste vorm kan

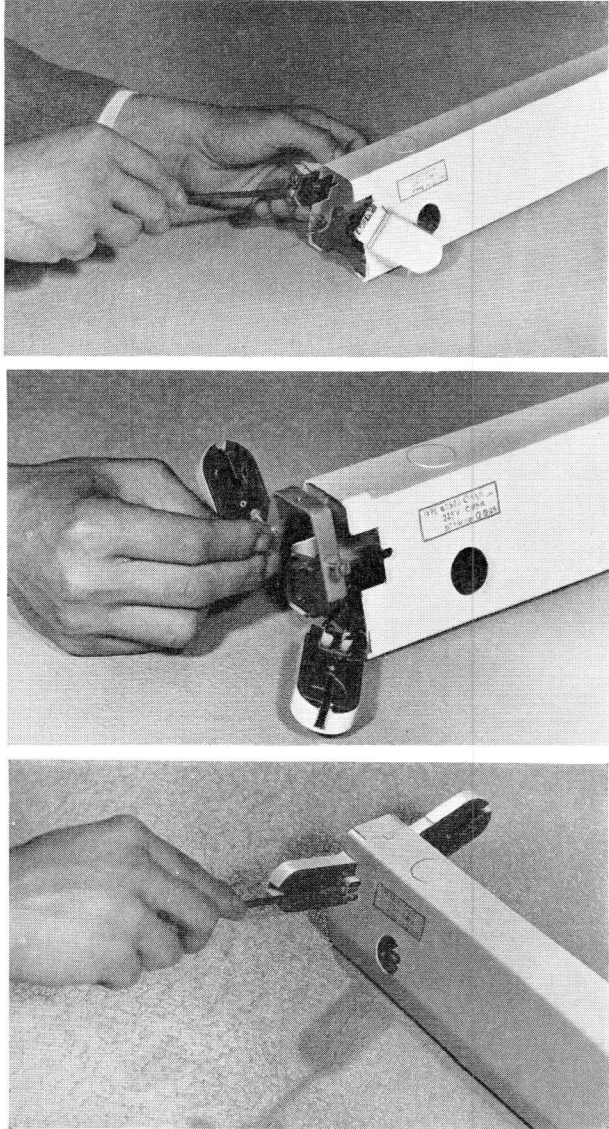
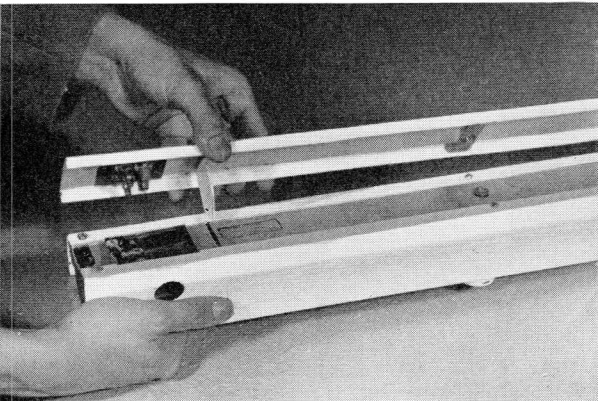
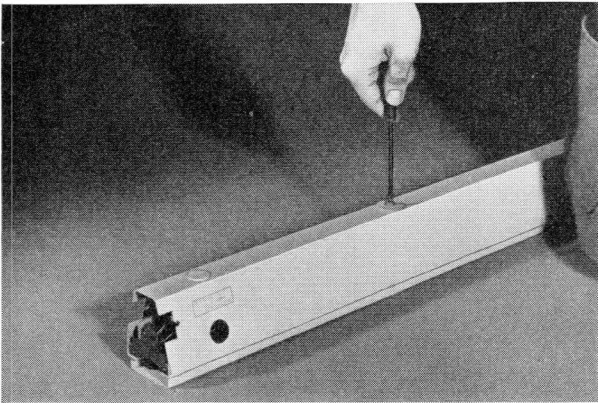
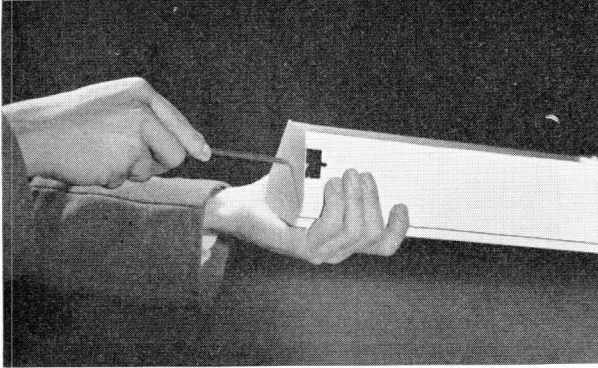


Fig. 115

Wijze waarop door de installateur op eenvoudige wijze de lamphouders worden gemonteerd op de NP-koker.

worden bevestigd. De fig. 98, 100, 101, 102, 104 en 107 tonen ons voorbeelden van armaturen die gebaseerd zijn op de hierboven beschreven NP-koker. Desgewenst is het ook mogelijk, onder de koppen van de twee schroeven eenvoudige glasdragers te bevestigen, zodat



met goedkope mid-delen een goed armatuur kan worden geconstrueerd (zie fig. 118 a en b).

De lamphouders (fig. 119) worden op eenvoudige wijze met behulp van één boutje op de NP-koker (zie fig. 115) of op het armatuur bevestigd. De elektrische aansluiting geschiedt aan de onderzijde, voordat de lamphouder op zijn plaats wordt gebracht.

De lamp wordt in de lamphouder geschoven, gaande van de top naar de voet van deze, en vervolgens wordt zij gedraaid over een hoek van 90° . Op deze wijze wordt het elektrisch contact tussen de pennen van de lamp en de bladveren in de

Fig. 116

Door het losdraaien van twee schroeven wordt de bovenrail van de eigenlijke koker verwijderd.

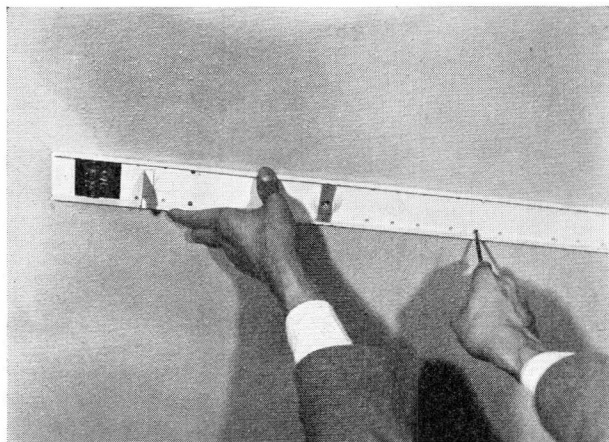


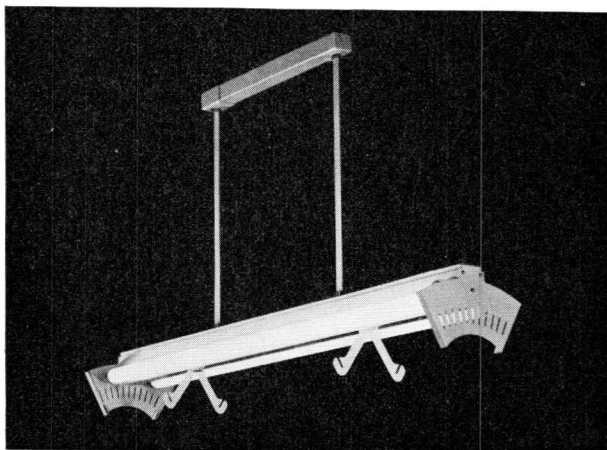
Fig. 117

Montage van de boven-rail van de NP-koker tegen het plafond.

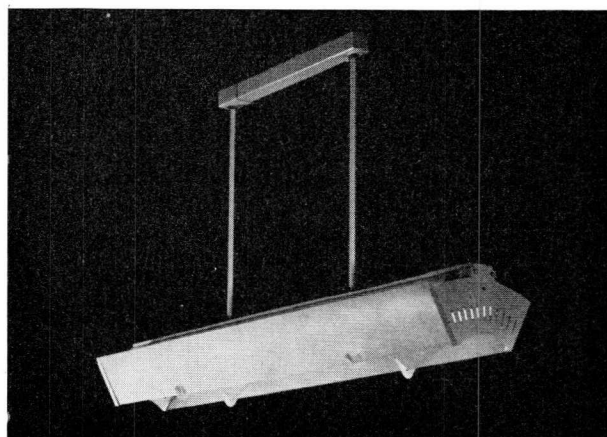
Fig. 118

- a. Voorbeeld van glasdragers, gemonteerd onder de koppen der schroeven.
b. Armatuur gecompleteerd met glasplaten.

lamphouder tot stand gebracht. Bovendien wordt de lamp hierdoor zo vast gehouden, dat uitvallen of lostrillen is uitgesloten. De lamphouder is zodanig geconstrueerd, dat het onmogelijk is de eventueel onder spanning staande veren met de hand aan te raken. Voor het bevestigen van de starter dient, zoals het woord zelf zegt, de starterhouder; deze wordt door middel van twee bouten op de ondergrond gemonteerd. De starter wordt in de starterhouder



a)



b)

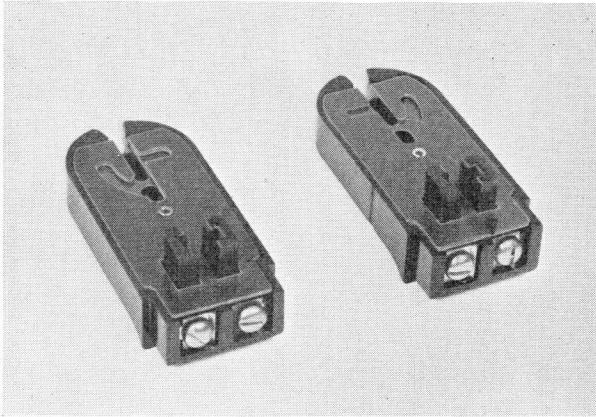


Fig. 119 a

Voorbeeld van een paar lamphouders voor TL-lampen.

gestoken en daarna ca. 20° gedraaid in de richting van de wijzers van een uurwerk. De pennen van de starter worden vastgehouden in twee sleutelgaten in de houder. Voor inbouw van de starterhouder in armaturen wordt een type vervaardigd, dat voorzien is van soldeerlippen (fig. 119 b). In de fabriek wordt

de bedrading aan deze lippen gesoldeerd. Voor montage zonder armatuur wordt een type starterhouder geleverd, waarbij de elektrische aansluiting met schroefboutjes geschiedt.

In plaats van gebuik te maken van de schakeling waarbij een smoorespoel en een TL-lamp in serie staan, is het mogelijk een gloeilamp en een TL-lamp in serie te laten branden. Bovendien zal in de toekomst ook de starter kunnen vervallen, zodat de gehele bedrading in hoge mate kan worden vereenvoudigd. Het door de gloeilamp (ballastlamp) uitgestraalde licht kan worden gebruikt ter verhoging van het verlichtingsniveau,

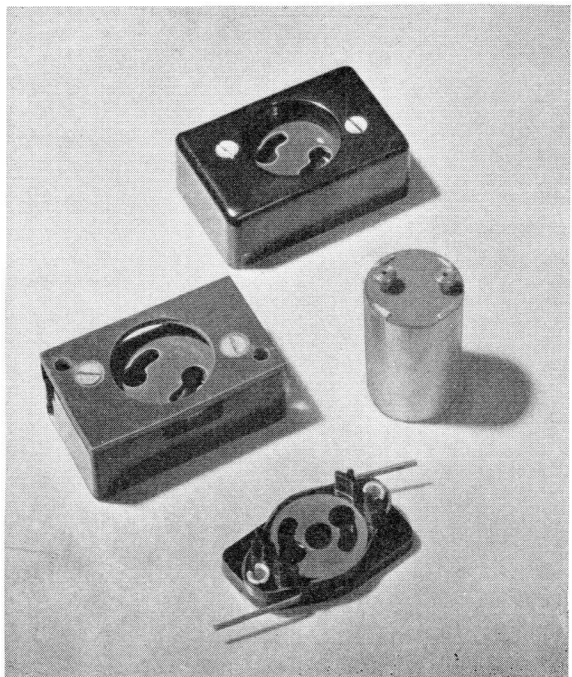


Fig. 119 b

Starterhouders. Het onderste type is voorzien van soldeerlippen, de bovenste typen zijn bestemd voor opbouw.

maar daarnaast om de kleur van de TL-lampen desgewenst te verzachten en, waar nodig, met behulp van speciale middelen schaduw effecten teweeg te brengen (winkels e.d.). Om dit laatste te bereiken plaatst men de lamp, voorzien van een kopspiegel, in een reflector die een min of meer geconcentreerde bundel naar beneden werpt. Voorbeelden hiervan worden getoond in de fig. 120 en 121.

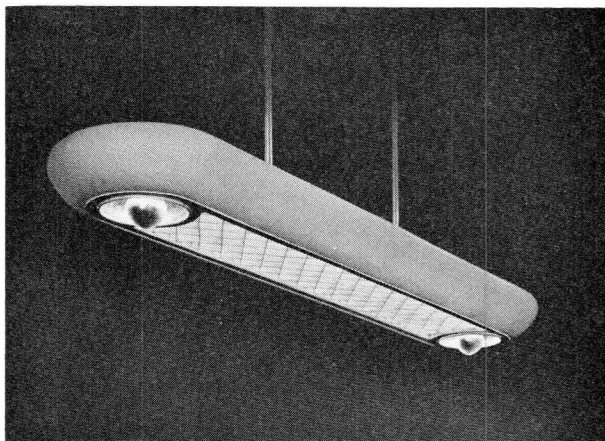


Fig. 120

Armatuur voor 2 TLS 40 W en 2 ballastlampen. De ballastlampen zijn kopspiegellampen, geplaatst in een reflector. De kap van het armatuur is geheel uit plastocel vervaardigd.

§ 4. DE VORM VAN HET ARMATUUR IN VERBAND MET HET GEBRUIK

Hierboven is er reeds op gewezen dat de vereiste lichtverdelingskarakteristiek van het armatuur nauw samenhangt met de wijze waarop en de ruimte waarin het armatuur zal worden gebruikt.

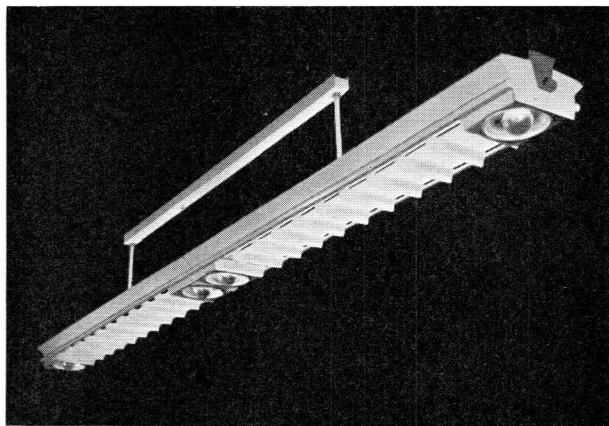


Fig. 121

Armatuur voor 2 TLS 40 W en 2 ballastlampen. De armaturen zijn in rijen gemonteerd.

Behalve de lichtverdelingskarakteristiek, verdient ook de vorm en de gehele opbouw van het armatuur onze aandacht. Bij een algemene verlichting zal, bij de tegen het plafond bevestigde armaturen, de hoogte van deze een betrekkelijk kleine rol spelen. Bij aan bui-

zen opgehangen armaturen zijn de breedte en de hoogte van meer belang, omdat men zoveel mogelijk tracht te vermijden dat alle armaturen tezamen de indruk geven van een tweede verlaagd plafond in de ruimte. Slanke, platte armaturen voldoen in zo'n geval het best. Een compromis tussen de vormgeving, de lichttechnische en de montage-technische eisen is dus noodzakelijk.

Bij de armaturen voor plaatselijke verlichting worden wij geleid door overwegingen van andere aard. In een fabriek of werkplaats verlangt de chef van een afdeling, dat hij overzicht over zijn personeel heeft. Dit betekent, dat de armaturen boven ooghoogte moeten hangen (dus op ca. 2 m boven de grond), ofwel onder ooghoogte. Lichttechnisch bezien, is de laatste oplossing te verkiezen. Het is echter duidelijk, dat er in een dergelijk geval gestreefd moet worden naar een armatuur waarvan de hoogte zo klein mogelijk is.

§ 5. MAATREGELEN TER VOORKOMING VAN BROMMEN

De voorschakelapparaten, die hetzij in de NP-koker, hetzij in het armatuur zijn gemonteerd, geven nog aanleiding tot de volgende opmerkingen: In de kern van de spoelen der voorschakelapparaten treden wisselende magneetvelden op, die de oorzaak zijn van trillingen welke door het voorschakelapparaat aan de rest van de constructie worden meegedeeld. Onder bepaalde omstandigheden kunnen deze trillingen worden omgezet in hoorbaar geluid, zodat een duidelijk brommen (hoofdzakelijk met een toonhoogte van 100 per/sec) waarneembaar wordt. Behalve dat men dus bij het aansluiten aan de voorschakelapparaten moet voldoen aan verschillende elektrische voorschriften, is het bij het monteren ervan gewenst te letten op de volgende punten:

- a.* Men bevestige het voorschakelapparaat zo stevig mogelijk in het armatuur, opdat het niet mogelijk is dat het apparaat, door het trillen op de ondergrond, gaat staan dansen. Bij de NP-koker is voor perfect vastzitten natuurlijk reeds gezorgd.
- b.* Evenzo is het wenselijk het armatuur zo stevig mogelijk tegen het plafond te bevestigen; de bovenrail van de NP-koker biedt hiervoor ruimschoots gelegenheid.
- c.* Daar bij het construeren van armaturen geen rekening kan worden gehouden met de aard van de ondergrond waarop zij zullen worden aangebracht, zij er hier op gewezen, dat het monteren van een armatuur op een materiaal dat gemakkelijk in trilling geraakt, de kans op brommen vergroot. Dit geldt in het bijzonder voor plafondplaten waarvan de eigenfrequentie ligt in de buurt van de 100 of 200 per/sec.

d. Om dezelfde reden dient men in de armaturenconstructies grote slappe vlakken te vermijden; bij voorkeur maakt men ze zo stijf mogelijk door er profileringsribben in aan te brengen. Een ander middel tot het elimineren van het brommen is de platen te perforeren, zodat de lucht niet in trilling kan geraken.

e. Als in een armatuur delen van hard materiaal (metaal, glas e.d.) ten opzichte van elkaar kunnen bewegen, bestaat het gevaar dat rammelen optreedt, doordat het ene deel op het andere gaat hameren. Men kan dit voorkomen door de losse delen stevig en over de gehele lengte aan elkaar te verbinden, ofwel door ze bewust vrij van elkaar te houden. In geval van glazen platen is het nuttig in de sponningen of beugels een zacht materiaal (vilt, rubber) aan te brengen.

f. Daar men in de buurt van het voorschakelapparaat toch altijd enige magnetische krachtwerking kan verwachten ten gevolge van het lekveld rondom de ijzeren spoelkern, monterende men deze apparaten bij voorkeur niet op een ondergrond van staalplaat of ander magnetisch materiaal. Indien dit toch onvermijdelijk is, kiest men de afstand tussen voorschakelapparaat en zulk magnetisch materiaal zo groot mogelijk.

Om deze reden vervaardigt men de koker van de voorschakelapparaten bij voorkeur van non-ferro materialen (als aluminium). Voor de rest van het armatuur kan desgewenst staalplaat worden gebruikt.

§ 6. DE MONTAGE

Een zeer belangrijk punt bij het ontwerpen van TL-armaturen is het probleem van de montage. Zoals reeds werd opgemerkt, brengen de grote afmetingen van de meeste TL-armaturen moeilijkheden met zich, waarmee men bij het monteren van gloeilamparmaturen niet heeft te maken. Bovendien speelt bij TL-armaturen het gewicht een grote rol.

Het streven is er op gericht door de fabriek zodanige armaturen te doen leveren, dat de installateur zo weinig mogelijk montagewerk te verrichten heeft. Speciaal het werk dat aanleiding geeft tot het maken van fouten, moet worden voorkomen. Om dezelfde reden verpakt men alle onderdelen van één armatuur, bij voorkeur tezamen met de ophanginrichting, in één doos.

Voor het monteren van armaturen in een ruimte bestaan verschillende systemen. In de eerste plaats komt in aanmerking directe bevestiging tegen het plafond (plafondmontage, zie fig. 98, 100). Het voordeel hiervan is, dat het aanzicht van een lange ruimte niet door de armaturen wordt verstoord. Bovendien is in lage vertrekken bevestiging direct tegen het plafond vereist. Een bezwaar van dit systeem is, dat de lampen

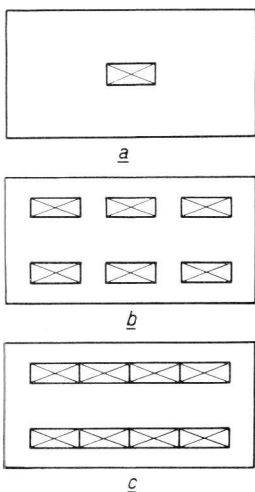


Fig. 122

- a. Individuele montage.
- b. Montage in onderbroken rijen.
- c. Montage in ononderbroken rijen.

zich zeer dicht bij het plafond bevinden en daardoor rondom de armaturen lichtplekken van hoge helderheid veroorzaken. Tussen de armaturen in is de helderheid van het plafond veel geringer, zodat te grote helderheidscontrasten ontstaan.

Ook kunnen de armaturen aan ophangbuizen worden gemonteerd (hangmontage, zie fig. 101, 102, 104, 106). Met dit systeem bereikt men een meer regelmatige verlichting van het plafond; bovendien bevinden zich de lichtbronnen dichter bij het werkvlak. Voor deze montage is het noodzakelijk aan het plafond een constructie aan te brengen die de ophangbuizen draagt en de toevoerdraden voor de netspanning van de contactdoos naar de ophangbuizen leidt. Bij lange armaturen moet namelijk de koker worden opgehangen aan twee buizen die op redelijke afstand van elkaar zijn verwijderd. Zou men zo'n armatuur aan één buis willen ophangen, dan gaat het armatuur zowel in verticale als in horizontale zin om de ophanging draaien.

Verder zijn er (zie fig. 122):

- a. de individuele montage. Eén armatuur wordt zonder enig verband met andere armaturen in een vertrek aangebracht (dit is zowel voor plafond- als voor hangmontage mogelijk). Deze wijze van monteren komt het meest overeen met de montage van gloeilamparmaturen.
- b. de montage in rijen. Hierbij worden langwerpige armaturen hetzij tegen het plafond, hetzij aan buizen opgehangen in rijen, die zowel onderbroken als ononderbroken kunnen zijn. De moeilijkheid bij dit systeem is, dat de armaturen zeer goed in elkaars verlengde moeten hangen, omdat iedere afwijking van de rechte lijn voor het oog direct zichtbaar is. Het eenvoudigst monteert men door langs het plafond een doorgaande constructie aan te brengen, die de ophangbuizen draagt. Bij de ononderbroken rijen koppelt men bovendien de armaturen zelf aan elkaar.

Bij alle onderwerpen die betrekking hebben op de montage in de praktijk, bedenke men dat deze montage dikwijls op grote hoogte — dus boven op een ladder en onder moeilijke omstandigheden — moet worden uitgevoerd. Bij voorkeur moet het armatuur hanteerbaar zijn voor één monteur, desnoods geholpen door een knechtje.

De armaturen en ophanginrichtingen worden dan ook zo uitgevoerd, dat eerst een licht en gemakkelijk onderdeel ervan tegen het plafond kan worden bevestigd. Voor de NP-koker werd reeds de losse bovenrail genoemd, die met vele schroeven aan het plafond is vast te maken (fig. 117). De eigenlijke koker wordt daarna tegen de bovenrail bevestigd door middel van de twee eerder genoemde schroeven.

Voor de hangmontage is een systeem ontwikkeld (het Philips PMR-systeem), dat bestaat uit een plafondrail, die eveneens vele gaten vertoont

en dus door middel van schroeven kan worden gemonteerd. In deze rail glijden doosjes, die op iedere gewenste plaats in deze rail kunnen worden vastgezet en waarin de ophangbuisen, die zijn voorzien van een stelring, kunnen worden gehaakt (zie fig. 123). In de plafondrail bevinden zich gaten, waardoorheen de bedrading van de contactdoos in het plafond naar de ophangbuis kan wor-

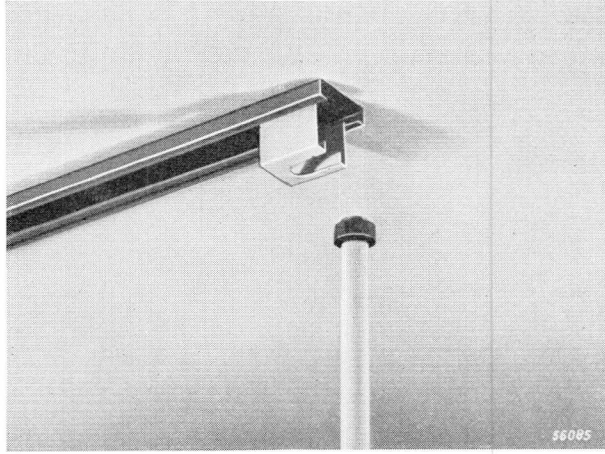


Fig. 123

PMR-systeem. Plafondrail met ophangdoosje. De ophangbuis met stelring is nog niet op zijn plaats gebracht.

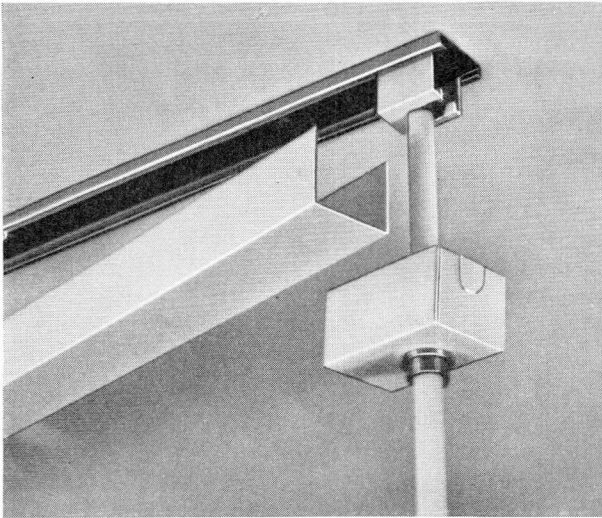


Fig. 124

PMR-systeem. De ophangbuis is in het ophangdoosje gehaakt. Afdekgoot en afdektukje zijn reeds aanwezig.



Fig. 125
PMR-systeem compleet.

stukje, dat reeds op de ophangbuis was geschoven (zie fig. 124). Fig. 125 toont ons zulk een ophanginrichting compleet.

Het PMR-systeem stelt ons ook in staat de armaturen in ononderbroken rijen op te hangen. De plafondrail kan zover worden doorgetrokken als men wenst (zie bijv. fig. 126). Bij deze wijze van monteren worden ook de NP-kokers met een koppelstuk aan elkaar verbonden. Dit koppelstuk wordt bevestigd aan de bovenrail der NP-kokers, zodat het ook in rijmontage, door het losdraaien van de twee schroeven, mogelijk is de koker met armatuur los te maken en te verwijderen.

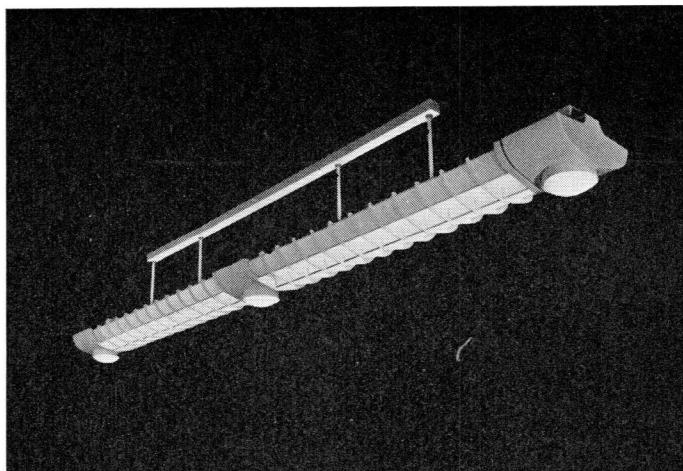
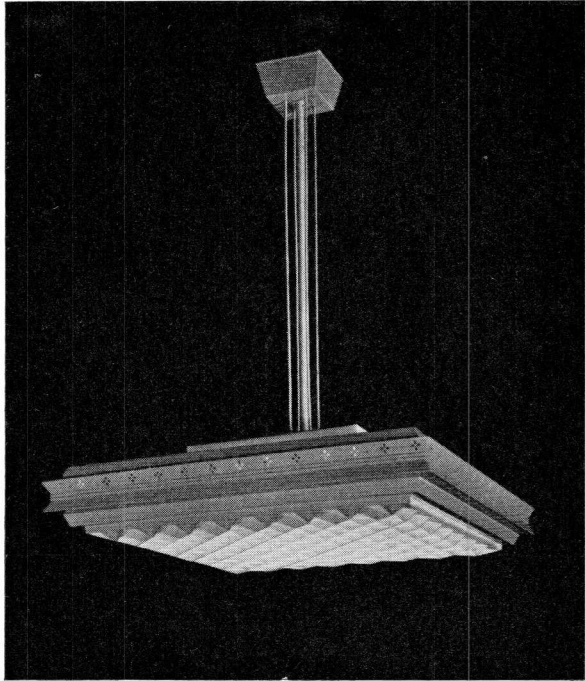


Fig. 126
Voorbeeld van rijmontage aan ophangbuizen met behulp van PMR-systeem. (Combinatie van TL-armaturen met Comptalux lampen voor winkelverlichting).

Fig. 127

Vierkant armatuur voor 8 TL 20 W-lampen, opgehangen aan één buis.

In gevallen waar een bestaande installatie vangloeilampen moet worden vervangen door TL-armaturen, is het mogelijk armaturen te ontwerpen die, evenals de gloeilamparmaturen, worden opgehangen aan één ophangbuis. Een eis is, dat deze armaturen, met het oog op het evenwicht, tweezijdig symmetrisch zijn (zie fig. 127).



§ 7. HET ONDERHOUD

Bij het ontwerpen van een armatuur is het onderhoud evenmin een te verwaarlozen onderwerp. In de eerste plaats moeten de armaturen zo zijn gevormd, dat het ontstaan van stofnesten onmogelijk is. Het stof

moet zoveel mogelijk door het armatuur heenvallen. Om deze reden zal men voor de afscherming aan de onderzijde van het armatuur de voorkeur geven aan het lichtrooster — dat immers slechts uit een aantal ver-

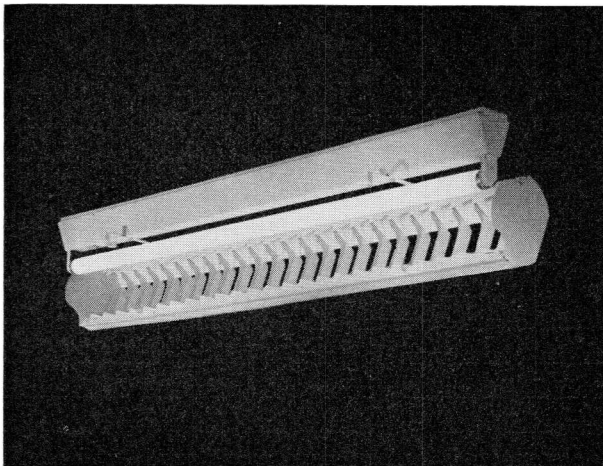


Fig. 128

Het armatuur opengeklapt, om de lampen te kunnen bereiken en te verwisselen.

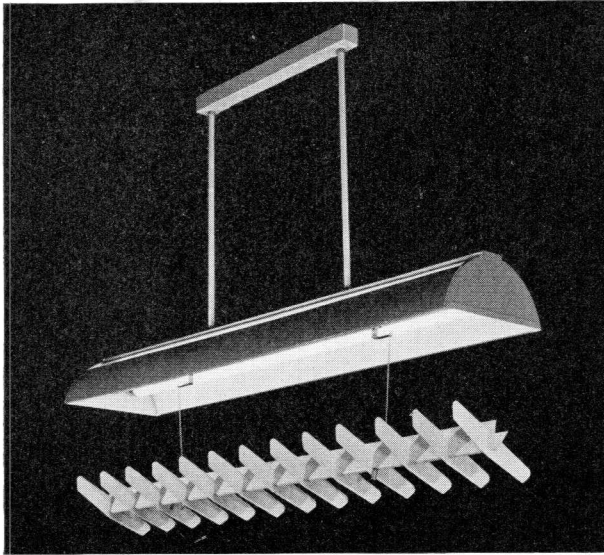


Fig. 129

Armatuur (zie fig. 107), waarvan men het lichtrooster heeft laten zakken voor het verwisselen van de lampen.

punt bij het schoonmaken van armaturen vormen glasplaten, die wegens hun grote lengte niet sterk zijn. Breuk komt dan ook in de practijk veel voor, hetgeen, behalve gevaar, ook de moeilijkheid oplevert, dat men moet trachten nieuwe passende glasplaten te krijgen.

Ook losse onderdelen dient men in de constructie te vermijden. Deze raken nl. óf tijdens de montage, óf tijdens het schoonmaken zoek en kunnen dan niet weer op hun plaats worden gebracht.

Behalve het reinigen van de armaturen, willen wij onder het onderhoud ook verstaan het verwisselen van defecte lampen of starters. Deze handeling moet eveneens zo eenvoudig mogelijk zijn en bij voorkeur kunnen geschieden zonder dat het nodig is het armatuur te demonteren. Bij de meeste hangarmaturen levert dit geen moeilijkheden op, doordat de lamphouders verticaal naar boven zijn geplaatst en de lampen daardoor boven over de zijwanden heen kunnen worden verwisseld.

Bij armaturen die tegen het plafond zijn gemonteerd, zijn de lampen niet altijd van boven af, d.w.z. tussen plafond en bovenkant zijwand door, te bereiken. In een dergelijk geval is het noodzakelijk het armatuur ten opzichte van de bedradingskoker scharnierend te maken, zodat de lampen door openklappen van het armatuur bereikbaar zijn (zie fig. 128). Over het algemeen is een scharnierconstructie vrij zwak

ticale schotjes bestaat — boven een glasplaat, waarop zich veel stof zal verzamelen. Behalve de bezwaren die zich voordoen bij het schoonmaken, gaat het rendement door deze opeenhoping van stof achteruit.

Reiniging van het armatuur moet op eenvoudige wijze kunnen geschieden. Dit pleit dus ook voor een armatuur dat met een paar handgrepen is los te maken en te verwijderen. Een zwak

en onhandig, en waar enigszins mogelijk vermijde men deze oplossing. Armaturen die aan de bovenzijde geheel of gedeeltelijk gesloten zijn, vragen een andere wijze van verwisselen, indien zij aan de onderzijde zijn voorzien van een lichtrooster. Door het lichtrooster bijvoorbeeld over enige afstand te laten zakken, is men in staat de lampen te bereiken (zie fig. 129).

Van de starters kan over het algemeen worden gezegd, dat ze steeds bereikbaar dienen te zijn. Demontage of openklappen van het armatuur voor het verwisselen van de starters moet in ieder geval worden vermeden.

OVER DE BEGINSELEN VAN DE VERLICHTINGSTECHNIEK

§ 1. INLEIDING

Beschouwt men de ontwikkelingsgang van de verlichtingstechniek, dan valt het op, dat zij gelijke tred heeft gehouden met de lichtbronnen.

In de tijd dat alleen de olielamp en de kaars ter beschikking stonden, kon men nauwelijks van een verlichtingstechniek spreken. De lichtbron was zeer zwak, produceerde in verhouding veel warmte en was duur. Men was toen gedwongen het licht spaarzaam toe te passen.

Na het verschijnen van de elektrische gloeilamp en van het gasgloeilicht, ontdekte men verschillende manieren om het licht, dat nu in vergelijking met vroeger overvloedig ter beschikking stond, te richten en te verdelen. De hinder door het verschijnsel der verblinding wist men te vermijden door de lichtbronnen in afscherpende armaturen te plaatsen, en men maakte daartoe gebruik van lichtverstrooiende, lichtreflecterende en lichtbrekende materialen. Het rendement van de lichtbronnen en de verlichtingssterkte op het werk waren echter nog laag. Het rendement van de lichtbronnen wist men geleidelijk te verbeteren; een grote vooruitgang hierin werd bereikt toen men de kooldraad verving door de wolframdraad. Het rendement van de wolframlamp werd verhoogd door de draad te spiraliseren, door de lampen met gas te vullen en later door de gloeidraad tweemaal te spiraliseren. Ook werden de methoden van productie en distributie van electriciteit geleidelijk verbeterd. Aldus was het mogelijk steeds grotere hoeveelheden licht toe te passen, en zulks leidde er toe, dat de mens zich steeds meer bewust werd van de betekenis van een goede verlichting. De betere verlichting maakt het zelfs mogelijk de industrialisatie sterk te intensifiëren.

In de volgende fase van de ontwikkeling der verlichtingstechniek komt naast de gloeilamp de gasontladingslamp, de natrium- en de kwiklamp en de fluorescentielamp. Van al deze lampen komt echter, dank zij de kleur van haar licht, alleen de fluorescentielamp voor algemeen gebruik in aanmerking. Het hoger rendement van de fluorescentielamp zou er toe hebben kunnen leiden, dat men op het verbruik van electriciteit ging

besparen. Dit is niet het geval geweest; integendeel is het hoge rendement benut om de behoefte aan licht beter te kunnen bevredigen. Men installeert voor een fluorescentieverlichting hetzelfde vermogen als voor een gloeilampenverlichting. Nu de fluorescentielamp ter beschikking staat, is de sprong van 150 lux gloeilampenverlichting naar 450 lux fluorescentielicht technisch en economisch mogelijk geworden.

Dat met fluorescentielampen een veel hoger niveau van de algemene verlichting kan worden bereikt dan met gloeilampen, willen we toelichten met een beschouwing over de verlichting van een kantoorruimte. Een verlichtingssterkte van 150 lux verkrijgt men door per 7 à 8 m² vloeroppervlak een gloeilamp van 200 watt te installeren. Ter vermindering van verblinding en van te harde schaduwen, wordt de gloeilamp in een diffusor geplaatst. Om de hogere verlichtingssterkte van 450 lux te verkrijgen zou men óf driemaal zoveel lampen moeten gebruiken, óf zou men elk armatuur van een veel sterkere lamp moeten voorzien. Het gebruik van driemaal zoveel armaturen als vroeger zou de indruk vestigen dat men een lampenwinkel wilde nabootsen; sterkere gloeilampen in de gebruikelijke diffusoren zouden een te grote helderheid van de armaturen veroorzaken, terwijl diffusoren van grotere afmetingen niet meer economisch zijn te vervaardigen. Ook ten aanzien van verblinding zijn fluorescentielampen gunstiger, omdat, wegens de lage helderheid, het directe licht van deze lampen veel minder gediffuseerd of afgeschermd behoeft te worden.

Verder is bij hoge verlichtingsniveau's de gloeilamp in het nadeel wegens de veel grotere verwarming van de ruimte dan bij fluorescentielampen. Om in een air-conditioned kantoor de in de ruimte ontwikkelde warmte te kunnen afvoeren, heeft men een vermogen van de installatie voor air-conditioning nodig welke 2,5 maal de in de ruimte ontwikkelde warmte bedraagt. Dus moet men in een air-conditioned kantoorruimte voor een gloeilampenverlichting niet alleen driemaal zoveel vermogen installeren voor verlichting, maar ook een groter vermogen voor de air-conditioning, dan bij gebruik van fluorescentielampen.

In het algemeen kan men zeggen, dat bij verlichtingsniveau's boven 200 lux het gebruik van gloeilampen op bezwaren stuit, en deze niveau's alleen met fluorescentielampen kunnen worden bereikt. Beneden de 200 lux kunnen zowel gloeilampen als fluorescentielampen worden gebruikt. Het gebruik van een aanvullende plaatselijke verlichting zal bij een gloeilampenverlichting veel meer nodig zijn dan bij een verlichting met fluorescentielampen. Vergelijkt men industriële gloeilampenverlichtingsinstallaties met die welke met fluorescentielampen zijn uitgevoerd, dan valt het op, dat bij de laatste in de regel geen plaatselijke verlichting is aangebracht. Het ontbreken van de armaturen voor plaatselijke verlich-

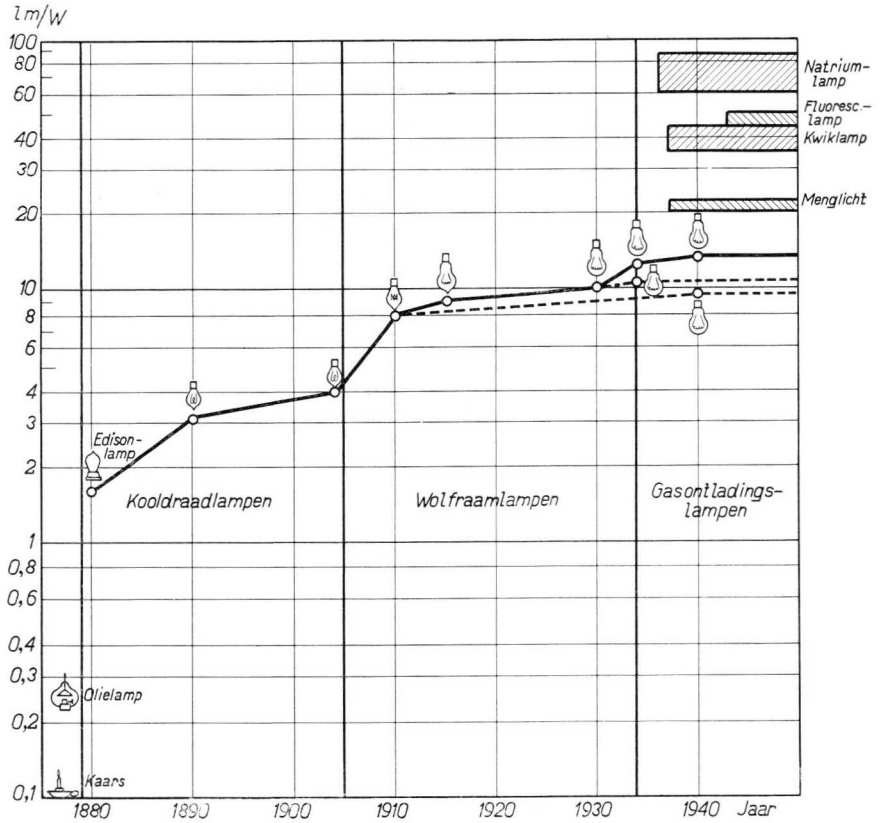


Fig. 130a

De verbetering van het rendement van de lichtbronnen in de loop der jaren.

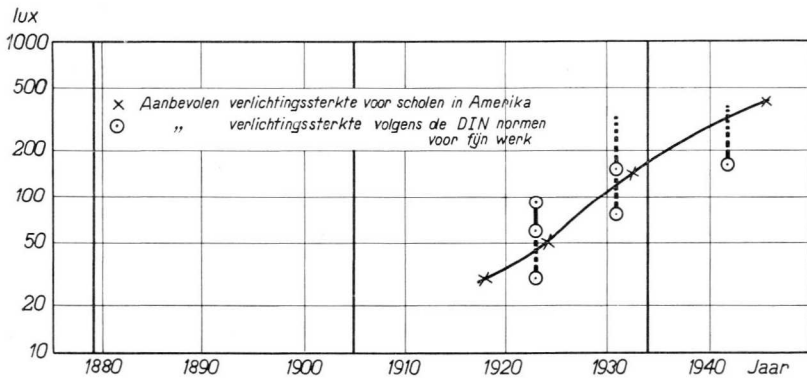


Fig. 130b

De stijging van de aanbevolen verlichtingssterkte in de loop der jaren.

ting komt het overzicht en het aanzien van de ruimte zeer ten goede. Elke verbetering der lichtproductie en der lichtopwekking heeft steeds geleid tot het gebruik van meer licht. Dit wordt op sprekende wijze getoond door fig. 130; fig. 130a geeft een overzicht van de toeneming van het rendement der lichtbronnen in de loop der jaren, en fig. 130b de stijging van de aanbevolen verlichtingssterkte volgens de DIN normen voor fijn werk en voor de verlichting van scholen in Amerika.

Ten einde de verlichtingstechniek beter te kunnen begrijpen, is het nodig de totstandkoming van het waarnemingsproces nader te beschouwen.

Een voorwerp weerkaatst de opvallende lichtstralen, waarbij het teruggekaatste licht, overeenkomstig de eigenschappen en de vorm van het oppervlak waarop het valt, wordt gewijzigd. Een deel van dit gereflecteerde licht treedt het oog binnen en vormt een beeld op het netvlies. Het netvliesbeeld wordt naar de hersenen overgebracht. Uit de door de hersenen ontvangen prikkels worden nu bewust de prikkels gekozen welke te maken hebben met het object dat men wil beschouwen. Zijn de ontvangen prikkels niet volledig om het detail dat men wil waarnemen te herkennen, dan worden impulsen teruggezonden naar de oogspieren, waarna het oog zich opnieuw richt en opnieuw accommodeert. We herinneren eraan dat alleen met het centrale deel van het netvlies, de fovea, scherp kan worden gezien. Om scherp te kunnen zien, moeten we het oog zo draaien, dat het waar te nemen detail juist op de fovea wordt afgebeeld. De opeenvolgende acties bij het waarnemen, het vormen van een netvliesbeeld, het doorzenden van dit beeld naar de hersenen, het terugstromen van impulsen en het opnieuw instellen van het oog, zullen voortgaan tot voldoende informatie zijn verzameld om zich over het waar te nemen detail een oordeel te vormen.

Het zal duidelijk zijn dat het waarnemingsproces alleen dan tot de herkenning van een bepaald waar te nemen detail kan leiden, als aan bepaalde voorwaarden die aan het object en zijn omgeving zijn te stellen, is voldaan. Deze voorwaarden zijn het niveau der helderheid, het verschil van helderheid of van kleur tussen het object en zijn omgeving, de grootte van het detail en de tijd die voor het waarnemen beschikbaar is. Bij het verrichten van een taak heeft het oog telkens korte rustperiodes nodig, en zal de blik niet voortdurend op de taak kunnen blijven gericht. De blik van de waarnemer dwaalt dan van het werk in de ruimte en zoekt een ver verwijderd punt, waarop de blik zich gedurende korte tijd vastzet. De oogspieren zullen zich dan ontspannen, en het oog geniet enkele momenten rust. Deze rustpauzen zullen weinig effect opleveren als de verschillen tussen de helderheid van het werkvlak en die van de ruimte te groot zijn. De helderheid van het werkvlak, die van zijn directe om-

geving en die welke in de ruimte voorkomt, moeten op elkaar zijn afgestemd. Het afstemmen van de helderheden wordt kortweg helderheidstechniek genoemd.

Het gaat er dus om, dat de verlichting het oog in staat stelt de visuele taak nauwkeurig, snel en met gemak uit te voeren, waarbij hinder door te grote tegenstellingen in helderheden wordt vermeden als het oog op het werk is gericht en tevens wanneer de blik de ruimte indwaalt.

Wij zullen achtereenvolgens gaan bespreken:

- 1) de hoeveelheid licht die bij het werk nodig is;
- 2) de gewenste helderheidsverhoudingen in het gezichtsveld als men naar de taak kijkt;
- 3) de gewenste helderheidsverhoudingen in het gezichtsveld als men van het werk opkijkt.

§ 2. VERLICHTINGSNORMEN

De normen voor de verlichting zijn in de loop der jaren, met het goedkoper worden der energieproductie en -distributie en met de verbetering der lichtbronnen, steeds hoger geworden. Fig. 130b, die de verlichtingsnormen in de loop der jaren weergeeft, toont dit op sprekende wijze. De verlichtingsnorm blijkt dus geen vaste norm te zijn, maar is met de technische en economische omstandigheden telkens gewijzigd. Toch heeft men ook in de verlichtingskunde behoefte aan een vaste norm.

In beginsel is het met de norm voor de verlichting gesteld als met de norm voor de voeding. Om normaal werk te kunnen verrichten heeft de mens per dag 2500 calorieën nodig. In de oorlog heeft aan dit dagelijks calorieënrantsoen heel wat ontbroken; weliswaar heeft menig een het er mee gedaan, maar toch zal geen medicus hierin aanleiding vinden om van mening te veranderen en te beweren dat minder dan 2500 cal. per dag wel voldoende zijn. Zoals bij de voeding, heeft men ook een vaste norm voor de verlichting nodig, maar om technische of economische redenen zal men er soms van moeten afwijken.

Een verlichtingsnorm zal gebaseerd moeten zijn op het verband tussen de werking van het gezichtsvermogen en de verlichtingssterkte.

In de inleiding vermeldde we dat de acties bij het waarnemingsproces zijn: het zich vormen van het netvliesbeeld, het doorzenden van dit beeld naar de hersenen, het terugstromen van impulsen naar de oogzenuwen en het opnieuw instellen van het oog, en dat deze opeenvolgende acties zo lang doorgaan tot voldoende informatie is verkregen om zich een oordeel over het waar te nemen detail te vormen. Na de fase van het opbouwen van een compleet netvliesbeeld volgt de fase van de

actie. Een deel der fouten, f_n , in het gepresteerde werk, wordt veroorzaakt in de fase van het opbouwen van het netvliesbeeld, een ander deel, f_a , bij de actie. Voor het totaal aantal fouten f geldt dus $f = f_n + f_a$. Eveneens is de tijd die nodig is om de taak te verrichten, opgebouwd uit een deel t_n , nodig voor het opbouwen van het netvliesbeeld, en een tijd t_a voor de actie; dus geldt $t = t_n + t_a$.

Om de samenhang van de werking van het gezichtsvermogen met de verlichtingssterkte te leren kennen, moet men dus door proeven vaststellen hoe bij het opbouwen van het netvliesbeeld het aantal fouten f_n en de tijd t_n voor taken van verschillend detail en contrast verlopen met de verlichtingssterkte.

Weston ^{1,2)} bestudeerde daartoe de snelheid en de nauwkeurigheid waarmee een proefpersoon op een kaart, bedrukt met Landoltse ringen (zie fig. 131), die ringen aanstreepte waarvan de opening zich in een van te voren opgegeven richting bevond. De proefpersoon moest deze taak uitvoeren gedurende 1 minuut, waarna 30 sec rust volgde, en dit herhaalde malen over lange tijd. Weston telde het aantal correct aangestreepte ringen n_a en het aantal ringen, n_v , dat de proefpersoon had moeten aanstrepen. De nauwkeurigheid g van het werk is voor te stellen door

$$g = \frac{n_a}{n_v}.$$

Van elke minuut dat de proefpersoon werkt, wordt een deel van de tijd gebruikt om de ringen te bekijken, en een deel om de ringen met de opening in de opgegeven richting aan te strepen. Ten einde de tijd die voor het uitvoeren van de handeling — dit is dus het aanstrepen van de ringen — nodig is, te bepalen, merkte men de aan te strepen ringen van te voren met een rode stip, zodat dan alleen de tijd wordt opgenomen die nodig is voor het uitvoeren van de handeling. Men bepaalde aldus de gemiddelde tijd t_a om één ring aan te strepen. Als in een periode van 1 minuut de waarnemer n ringen heeft bekeken, en daarvan a ringen heeft aangestreept, dan is de tijd voor de actie $a \times t_a$, en de tijd om de n ringen met het oog af te tasten 1 minuut — $a \times t_a$; de tijd om 1 ring met het oog af te tasten zal dan zijn $\Delta = \frac{1 \text{ min.} - a t_a}{n}$. De snelheid waarmee het oog werkt is dus $1/\Delta$.

Door het uitvoeren van deze proeven heeft Weston de nauwkeurigheid g en de snelheid $1/\Delta$, waarmee ons visuele waarnemingsapparaat werkt, bepaald. Weston heeft het begrip visuele prestatie ingevoerd als $p = g \times 1/\Delta$; deze grootheid omvat dus tegelijkertijd nauwkeurigheid en snelheid.

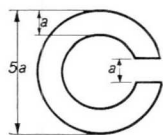


Fig. 131
Ring van Landolt.

Het ligt voor de hand aan te nemen dat de visuele prestatie ten nauwste samenhangt met de inspanning die het waarnemen kost. Zoals uit het werk van Weston blijkt, betekent een verandering van waarde van de visuele prestatie in hoofdzaak een verandering in de tijd welke de waarneming vergt. Bij een kleine visuele prestatie zal het oog zich dus langer moeten inspannen. De visuele prestatie kan worden beschouwd als index voor de inspanning van het visuele waarnemingsapparaat.

In fig. 132 zijn enkele resultaten uit het werk van Weston weergegeven, en wel de visuele prestatie bij verschillende verlichtingssterkten voor taken van verschillend detail en contrast. Uit deze figuur blijkt dat de maximale visuele prestatie voor een taak van klein detail en klein contrast lager is dan voor een taak van grotere afmetingen. Fijn werk zal ook bij zeer hoge verlichtingssterkte meer inspanning van de ogen vergen dan gewoon werk. Het is dus niet mogelijk om voor de in fijnheid zo uiteenlopende visuele taken zoveel licht voor te schrijven, dat zij met dezelfde mate van inspanning kunnen worden verricht. Verlichtingsnormen te baseren op het voor de hand liggende beginsel van gelijke inspanning voor de verschillende taken is dus niet mogelijk.

Om de maximale visuele prestatie bij fijne visuele taken te bereiken zijn zeer hoge verlichtingssterkten nodig. In vele gevallen zijn deze hoge waarden niet te verwezenlijken en moet men zich met lagere waarden der prestatie tevreden stellen. Uit de publicatie van Weston is tabel I afgeleid ¹⁾, welke de verlichtingssterkten vermeldt die nodig zijn om een gegeven percentage van de maximale visuele prestatie te bereiken bij taken van verschillend contrast c en detailgrootte d .

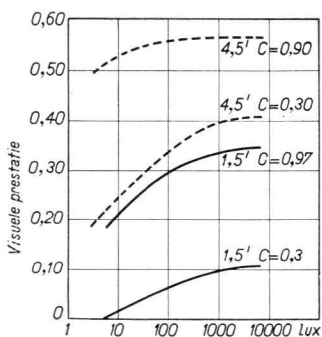


Fig. 132

De visuele prestatie voor taken van verschillend detail en contrast als functie van de verlichtingssterkte; reflectiefactor van de achtergrond 90%.

We zullen nu nagaan hoe men uit het werk van Weston een verlichtingstabel voor de praktijk kan vaststellen.

Om de verschillende uiteenlopende taken, als fijn en grof montagewerk, schrijven, lezen, typen, boekhouden, het maken van constructietekeningen, naaiwerk enz., goed te kunnen verrichten, is het nodig dat men bepaalde details nog goed ziet, d.w.z. dat ze duidelijk tegen de achtergrond moeten afsteken. De moeilijkheid van een visuele taak kan men dus karakteriseren door het detail dat men moet kunnen zien. Het voor de moeilijkheid van een taak representatieve detail wordt bepaald door zijn grootte en zijn contrast en door het helder-

heidsniveau van zijn achtergrond. De grootte van het detail wordt gemeten in boogminuten; een hoek van 1' correspondeert met 0,1 mm, gezien op 30 cm afstand. Het contrast van het representatieve detail wordt gedefinieerd door $c = (B_1 - B_2)/B_1$, waarin B_1 de helderheid van de achtergrond, B_2 die van het detail is.

TABEL I

Verlichtingssterkte in lux die nodig is voor het verkrijgen van gegeven waarden van de relatieve prestatie, bij taken met verschillend contrast c en detailgrootte d (reflectiefactor van de achtergrond = 0,9)

	Contrast c	0,1	0,2	0,4	0,8
Detailgrootte d	Relatieve prestatie p				
1'	0,98		9900	6300	3800
	0,95		7500	4300	2050
	0,90		5400	2900	1200
	0,80		3100	1500	360
1,5'	0,98	9900	6600	3900	1600
	0,95	8100	4500	2400	750
	0,90	5700	3300	1500	370
	0,80	3300	1650	610	97
3'	0,98	5800	3600	1600	260
	0,95	4100	2250	780	110
	0,90	2500	1300	320	34
	0,80	1300	550	130	12
6'	0,98	2900	1600	480	57
	0,95	1700	700	170	19,5
	0,90	880	260	59	5,4
	0,80	420	120	26	2,6

De helderheid van de achtergrond hangt, behalve van de verlichtingssterkte, ook af van de reflectiefactor van de achtergrond. De gegevens van tabel I hebben betrekking op een achtergrond met een reflectie-

factor van 90%. Wil men deze tabel toepassen op taken waarbij de achtergrond een kleinere reflectiefactor bezit, dan moeten de verlichtingssterkten in de verhouding der reflectiefactoren groter worden genomen.

De moeilijkheid van de taak is door de grootte en het contrast van het detail echter niet volledig gekarakteriseerd. Men moet ook in aanmerking nemen de lengte van de tijd gedurende welke een taak moet worden verricht. Een dagelijks wederkerende taak, die lang achtereen en ononderbroken moet worden verricht, is zwaarder dan indien zij door rusttijden wordt onderbroken of slechts zo nu en dan behoef te geschieden.

Men ziet uit tabel I dat, voor taken met groot detail en groot contrast, reeds bij lage verlichtingssterkten de maximale visuele prestatie wordt genaderd. Hieruit moet men niet de conclusie trekken dat voor grof werk een verlichting van 10 lux wel voldoende is. Het gaat niet alleen om het kunnen zien van de taak; de verlichting moet er mede toe bijdragen dat de mens zich behaaglijk kan voelen, waartoe de werkruimte een prettige indruk moet geven. Voor grof werk wordt de gewenste verlichtingssterkte niet bepaald door de visuele prestatie, maar zal men op grond van de algemene helderheidsindruk die in de desbetreffende ruimte moet heersen aanzienlijk hogere verlichtingsniveau's aanbevelen.

Over de samenhang van de indruk die van de werkruimte moet uitgaan met het verlichtingsniveau is weinig bekend, en we zullen met vage aanduidingen moeten volstaan. In ruimten waar, ten gevolge van een onvoldoende dagverlichting, ook overdag kunstlicht moet worden gebruikt, zal men hogere niveau's toepassen dan in ruimten waar de kunstverlichting alleen 's avonds nodig is. Eveneens zal men in ruimten waar men voortdurend en gedurende lange tijd moet vertoeven een hoger niveau wenssen dan in ruimten waarin men slechts zo nu en dan behoef te zijn. Met het oog op het zich behaaglijk kunnen voelen, willen we voorstellen om in elke ruimte waar men moet vertoeven, nimmer een verlichtingsniveau lager dan 80 lux toe te passen.

Resumerend komt men tot het besluit, dat verlichtingsnormen moeten worden gebaseerd op de moeilijkheid van de taak (grootte en contrast van het detail en de beschikbare waarnemingstijd), waarbij een zodanige verlichtingssterkte wordt vastgesteld dat, al naar de technische en economische omstandigheden, een zo groot mogelijke visuele prestatie wordt bereikt en tevens voldoende licht aanwezig is om zich behaaglijk te kunnen voelen.

Volgens deze grondslagen kan men op logische wijze een verlichtingsnorm voor de practijk vaststellen, waarbij men voor ogen houdt een absolute norm, welke berust op de werking van het gezichtsvermogen. De bovenbeschreven beginselen gaan we toelichten met het voorbeeld



Auto-smeerkuil, verlicht met buislampen TL-40 W. Sterkte ca. 300 lux.

van de verlichtingsnorm voor kantoorwerk. We kiezen deze taak omdat een ieder met de moeilijkheid ervan, voor zover het de visuele waarneming betreft, wel bekend is en men de moeilijkheid van andere taken ermee kan vergelijken.

Onder kantoorwerk rekenen wij het voeren van correspondentie, schrijven, lezen, boekhouden, typen, bedienen van kantoor machines en corrigeren van drukproeven. Het gaat hierbij dus om het herkennen van gedrukte en geschreven letters en cijfers. Om een letter of cijfer te

herkennen, moet men details kunnen zien welke $\frac{1}{5}$ van de grootte van het lettertype bedragen. De grootte van het lettertype van veel voorkomende krantendruk is 1,4 mm. Het te herkennen detail is dus 0,28 mm; bekeken op 30 cm komt dit overeen met 2,8'. Het contrast van de letters met de achtergrond varieert van 0,8 tot 0,7, de reflectiefactor van 0,8 tot 0,6. De moeilijkheid van normaal kantoorwerk zal overeenkomen met die van krantendruk; dus zal er bij een detail van 2,8', een contrast zijn van 0,7, tegen een achtergrond met een reflectiefactor 0,7. Sommige kantoor taken, als het uitwerken van stenogrammen, het lezen van doorlagen, zijn moeilijker dan de gekozen representatieve taak; andere daarentegen, als het lezen van grotere druk, zijn gemakkelijker. De visuele prestatie voor deze taak bij verschillende verlichtingssterkten is weergegeven in fig. 133, die is afgeleid uit de gegevens van tabel II.

Sinds de fluorescentielamp ter beschikking staat, is het technisch mogelijk en economisch verantwoord algemene verlichtingsniveau's tot 500 lux toe te passen. Bij 500 lux bereikt men een visuele prestatie van 97%. In de huidige ontwikkelingsfase van de verlichtingstechniek is het mogelijk voor kantoorwerk een visuele prestatie te bereiken van ten minste 95%. Als norm voor de verlichtingssterkte voor kantoorwerk stellen we voor een waarde tussen 500 en 250 lux.

In geval de lees- en schrijftaak niet continu moet worden verricht, zoals in schoollokalen, mag gedurende de kortere periode dat gewerkt wordt wel een grotere inspanning van de ogen worden gevergd; in deze gevallen nemen we als basis een visuele prestatie van ten minste 90% en stellen als norm 250 tot 125 lux.

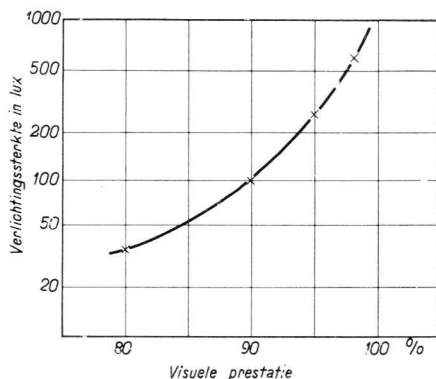


Fig. 133

Het verband tussen de verlichtingssterkte en de visuele prestatie voor de kantoor taak.

$$D = 2,8', C = 0,7 \text{ en } \varrho = 0,7.$$

TABEL II

Aard van het werk	Normen voor de verlichting
KANTOOR	
<i>Normaal kantoorwerk:</i> Boekhouden, typen, correspondentie, lezen, schrijven, bedienen van kantoor machines	500 — 250 lux
Representatieve taak $D = 2,8'$ $C = 0,7$ $\rho = 0,7$	
Tekenen	1000 — 500 lux
Ruimten waar niet permanent wordt gewerkt (archief, trap, wachtkamer)	125 — 80 lux
Gangen	50 — 30 lux
SCHOLEN	
Leslokaal	250 — 125 lux
Tekenzaal, naaileslokaal	500 — 250 lux
INDUSTRIE	
<i>Zeer fijn:</i> horlogemaken, kleine instrumenten, graveren	2000 — 1000 lux
<i>Fijn:</i> fijn montagewerk, stellen van revolverbanken, fijn draaien, fijn persen, polijsten	1000 — 500 lux
<i>Gewoon:</i> boren, grof draaien, gewoon montagewerk	500 — 250 lux
<i>Grof:</i> smeden, walsen	125 — 80 lux
WONING	
<i>Woonkamer:</i>	
Algemeen	100 — 60 lux
Zo nu en dan lezen	125 — 80 lux
Lang achtereen lezen	250 — 125 lux
Naaien (donkere stof)	500 — 250 lux
Huiswerk	250 — 125 lux
<i>Keuken:</i>	
Algemeen	125 — 80 lux
Gootsteen, koken	plaatselijk
<i>Slaapkamer:</i>	
Algemeen	100 — 60 lux
Spiegel	plaatselijk

Voor ruimten waar zo nu en dan wordt gewerkt, bijv. archief ruimten, is de norm 125 tot 80 lux.

Op de bovenomschreven wijze zijn voor verschillende taken in industrie, kantoor, school en huis, de in tabel III vermelde verlichtingsnormen gekozen. Het zal niet altijd gemakkelijk zijn de lichtgebruiker van de noodzakelijkheid van hoge verlichtingsniveau's te overtuigen. Hiertegen zou geen bezwaar worden aangevoerd, als bij gebruik van meer licht de productie toenam. Voor normaal werk neemt de productie met het verlichtingsniveau toe op de wijze als voor de leessnelheid, d.i. het aantal letters per minuut, het geval is. De toeneming wordt langzaam geringer naarmate het verlichtingsniveau groter wordt, terwijl bij 150 lux bijna de grootste leessnelheid wordt bereikt. De toeneming van de productie voor normaal werk voor niveau's boven 150 lux is te klein om een verlichting van 500 lux te kunnen argumenteren. De toeneming van de visuele prestatie met het verlichtingsniveau zal in het algemeen niet worden beantwoord met een even grote toeneming van de productiecijfers. Het hier gebruikte begrip visuele prestatie heeft alleen betrekking op de werking van het gezichtsvermogen. Heeft men te maken met een taak waarbij op de visuele waarneming nog een min of meer ingewikkelde actie volgt, dan zal de invloed van de verlichting op het totale resultaat, „de productie”, belangrijk kleiner zijn dan de invloed op de visuele „prestatie”, aangezien de fouten die bij de actie worden gemaakt, en de nodige tijd, onafhankelijk zijn van de verlichting ervoor. Naarmate het visuele deel van de taak voor het totale resultaat meer bepalend is dan het deel van de actie, zullen de productiecijfers meer in overeenstemming zijn met de visuele prestaties.

Wij willen niet onvermeld laten, dat de laatste jaren van verschillende zijden de vraag is gesteld of de aanbevolen verlichtingsniveau's niet te hoog zijn. Ook worden de grondslagen welke tot deze waarden hebben geleid in twijfel getrokken.^{3, 4, 5}) Het is niet de bedoeling de gepubliceerde critieken te bespreken; wij willen volstaan met op te merken, dat hierin het belangrijke werk van Weston¹⁾ niet in beschouwing is genomen. Dit is te betreuren, omdat verlichtingsnormen in de eerste plaats moeten worden gebaseerd op de samenhang van de werking van het gezichtsvermogen met die van de verlichtingssterkte; het omvangrijke werk van Weston geeft hieromtrent belangrijke resultaten. Over de toepassing van de verlichtingstabel willen wij nog het volgende opmerken. Voor werkzaamheden waarbij het gaat om het waarnemen van kleine details en lage helderheidscontrasten, zijn hoge verlichtingssterkten noodzakelijk. Om technische en economische redenen zijn niveau's voor de algemene verlichting boven de 500 lux bezwaarlijk te

realiseren. Een hogere verlichtingssterkte bij het werk zal dan moeten worden bereikt door middel van een plaatselijk verlichtingssysteem, waarmede 1000 en 2000 lux gemakkelijk te verkrijgen zijn.

In de inleiding hebben we de moeilijkheden vermeld welke optreden als men met gloeilampen hoge verlichtingsniveau's zou installeren. Om technische redenen moet men voor algemene verlichtingsniveau's boven 200 lux alleen fluorescentielampen gebruiken; beneden de 200 lux kunnen zowel gloeilampen als fluorescentielampen worden gebruikt.

In gevallen waarin men genoodzaakt is licht spaarzaam te gebruiken, moet men trachten een oplossing te vinden waarbij de gewenste verlichtingssterkte op het werkvlak valt. In dergelijke gevallen geven we de voorkeur aan een plaatselijke verlichting boven een algemene verlichting waarvan het niveau onder het voor het werk gewenste niveau ligt.

Bij installaties met een plaatselijke verlichting die met een zwakke algemene verlichting wordt aangevuld, moet men grote helderheidsverschillen in de ruimte vermijden. Hiertoe moet de algemene verlichting worden aangepast aan de plaatselijke verlichting. In tabel III is voor verschillende waarden van de plaatselijke verlichting de laagste waarde van de algemene verlichting vermeld.

TABEL III

Plaatselijke verlichting	Laagste grens van de algemene verlichting
250 lux	50 lux
500 „	75 „
1000 „	100 „

§ 3. GEWENSTE HELDERHEIDSVERHOUDINGEN IN HET GEZICHTSVELD ALS MEN KIJKT NAAR DE TAAK

Het gebied dat men overziet als de blik op de taak is gericht, kan men in drie delen onderscheiden: het centrale gebied, gevormd door het veld van de taak, bijv. een bladzijde van een boek, de directe omgeving van het veld van de taak — dit kan een bureaublad zijn — en de meer buitenwaarts gelegen zone. Het is een bekend feit, dat de blik wordt getrokken naar vlakken van grote helderheid. Om de blik naar de taak te leiden en hierop gericht te houden, moet dus het vlak van de taak een grotere helderheid bezitten dan de directe omgeving.

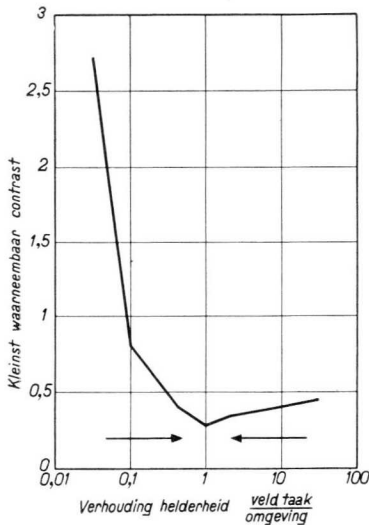


Fig. 134.

De invloed van de verhouding van de helderheid van het veld van de taak en die van de omgeving op het kleinst waarneembare contrast.

Het vermogen om details en helderheidsverschillen te kunnen zien hangt af van de verhouding van de helderheid van het vlak van de taak tot die van de omgeving. In fig. 134 is het kleinst waarneembare helderheidsverschil uitgezet tegen de verhouding van de helderheid van de taak en van de omgeving ⁶⁾. Uit deze figuur ziet men dat de gevoeligheid om contrasten te zien snel terugloopt als de omgeving een grotere helderheid bezit dan de taak, en dat zij veel minder sterk vermindert als de omgeving donkerder wordt dan de taak. Een dergelijk onderzoek over het kleinst waarneembare detail levert een analoog resultaat ⁷⁾. Aan een onderzoek ⁸⁾ over de invloed van de helderheidsverdeling in het gezichtsveld op de contrastgevoeligheid ontleen we, dat de grootste waarde van de contrast-

gevoeligheid wordt bereikt als de helderheden van het vlak van de taak en de omgeving de volgende waarden bezitten:

Helderheid vlak taak	1 m lambert*)	5 mL	10 mL	30 mL	50 mL	100 mL
----------------------	---------------	------	-------	-------	-------	--------

Helderheid directe omgeving	1 mL	4 mL	7,5 mL	15 mL	20 mL	30 mL
-----------------------------	------	------	--------	-------	-------	-------

*) Een helderheid van 1 millilambert is aanwezig als op een wit diffuus reflecterend vlak 10 lux valt.

Men ziet, dat het bij lage helderheidsniveau's gunstig is een gelijke helderheid voor het veld van de taak en voor de omgeving na te streven, terwijl een donkerder omgeving bij hogere helderheidsniveau's gunstiger is. Als regel bevelen we aan, dat de helderheid van de directe omgeving niet hoger mag zijn dan die van het veld van de taak, en niet lager dan één derde hiervan. De buitenwaarts gelegen zone van het gezichtsveld kan

worden gevormd door grote vlakken, welke donkerder zijn — bijv. de vloer — of welke lichter zijn — bijv. het plafond — dan het veld van de taak. De helderheid van de donkere vlakken moet niet lager zijn dan $\frac{1}{10}$ van de helderheid van het veld van de taak, en die van de lichte vlakken moet niet meer bedragen dan 10 maal de helderheid van de taak.

In de industrie komt het veel voor, dat de directe omgeving wordt gevormd door een deel van een machine dat veelal in het gebruikelijke groen of zwart is geverfd. Men zou zowel de zichtbaarheid als de indruk van de ruimte kunnen verbeteren door het gebruik van lichte verfsoorten, die dan tegen de gebruiksomstandigheden bestand moeten zijn.

Te heldere lichtvlekken en lichtstrepen kunnen in het gezichtsveld optreden door spiegeling. Vele oppervlakken, bijv. van papier, zijn te vergelijken met een enigszins matte spiegel. Door zulke vlakken worden lichtstralen sterker gereflecteerd in de spiegelingsrichting dan in andere richtingen. Bevindt het oog zich juist in de spiegelingsrichting van een lichtbron, dan kan het hinderlijke verschijnsel van glimmen optreden. Vooral in kantoren, scholen en tekenzalen kan veel hinder door glimmen worden ondervonden. Hinder door spiegeling kan men beperken door het gebruik van niet glimmende materialen, en men kan hem geheel vermijden door er voor te zorgen dat geen lichtbron in het oog wordt weerpiegeld. Daartoe moet men dus zorgen dat het licht bijv. op het leesvlak van links of van achter invalt. Dit is alleen mogelijk in ruimten waar de personen in dezelfde richting kijken, zoals in scholen en soms in kantoorroimten. Wil men geheel vrij zijn in het plaatsen van het meubilair in een kantoor, dan zullen er plaatsen moeten zijn waar geen glimmen optreedt, en andere waar dit wel het geval is. Zijn betrekkelijk weinig lichtbronnen in een ruimte aanwezig, dan kan men door een kleine beweging van het hoofd bereiken, dat men juist buiten de spiegelingsrichting kijkt. Zijn er vele lichtbronnen, dan is de kans groot dat één ervan in het oog wordt gereflecteerd, en kan men door het hoofd iets anders te richten moeilijk het glimmen geheel doen verdwijnen.

Het zijn niet alleen de lichtbronnen die het glimmen veroorzaken. Ook bij indirecte verlichting ¹⁰⁾ treedt nog glimmen op. Hiervan wordt men zich bewust als men, lezend, met de hand juist het licht van dat deel van het plafond onderschept, dat in het oog kan worden gereflecteerd. Men constateert dan, dat een zwak waas verdwijnt en de letters veel duidelijker uitkomen.

We wijzen er op, dat het gelijktijdig functionneren van beide ogen door het glimmen kan worden bemoeilijkt. Bekijkt men afwisselend met het ene oog en met het andere een bladzijde van een boek, dan zal men soms kunnen vaststellen, dat voor het ene oog een ander deel van de blad-

zijde glimt dan voor het andere. Het ene deel van een regel zal dus het best met het ene oog, het andere deel het best met het andere oog kunnen worden waargenomen.

De hinder van het glimmen wordt men zich, nu hogere verlichtingsniveau's worden gebruikt, steeds meer bewust ⁹⁾. Het glimmen kan de voordelen van hogere verlichtingsniveau's ten dele te niet doen.

Bij een systeem voor algemene verlichting is het zeer moeilijk omstandigheden te realiseren waarbij op geen enkele plaats hinderlijke spiegeling kan optreden. Bij een gloeilampenverlichting heeft men in de regel te maken met weinig, maar geconcentreerde lichtbronnen; bij een fluorescentieverlichting daarentegen, met vele lichtbronnen van lage helderheid. De spiegeling bij gloeilampen zal daardoor zeer hinderlijk kunnen zijn, maar zal door een kleine verplaatsing van het hoofd verdwijnen. Bij fluorescentieverlichting zal het glimmen veel zwakker zijn, maar is de kans dat door een kleine verplaatsing van het hoofd het glimmen geheel verdwijnt veel geringer.

Bij schuine invalrichting van het licht zal de spiegeling veel sterker zijn dan bij steile invalrichting. Om de hinder door spiegeling te beperken, is het nodig de lichtuitstraling van de armaturen in schuin benedenwaartse richtingen te beperken; dit geldt zowel voor gloeilamp- als voor fluorescentiearmaturen.

De hinder door glimmen zal geringer zijn naarmate de lichtbron welke in het oog wordt gespiegeld, minder tot de verlichtingssterkte op het leesvlak bijdraagt. Bij een fluorescentieverlichting zal, wegens de grote afmetingen van de lampen en de lage helderheid, de verlichtingssterkte, teweeggebracht door het oppervlak dat juist in het oog kan worden gespiegeld, een kleine fractie zijn van de totale verlichtingssterkte. Bij de toepassing van gloeilampenverlichting kunnen de omstandigheden veel ongunstiger zijn, en in de regel zal de lichtbron die het glimmen veroorzaakt, een groot deel tot de totale verlichtingssterkte bijdragen. Hoeveel de bijdrage van zulk een lichtbron tot de totale verlichtingssterkte bij lezen maximaal mag zijn, is elders beschreven ¹⁰⁾.

Bij gebruik van fluorescentielampen kan men in grote trekken twee gevallen onderscheiden. In het ene geval zijn de fluorescentielampen loodrecht op het verticale vlak door de kijkrichting geplaatst; in het andere geval zijn ze evenwijdig aan het verticale vlak door de kijkrichting aangebracht. De vraag rijst welke montagewijze ten aanzien van glimmen voordelen biedt. De volgende proef kan op deze vraag een antwoord geven.

Een waarnemer laat men een bladzijde druks op kunstdrukpapier lezen; de verlichting hiertoe wordt bezorgd door twee lichtbronnen.

Een van de lichtbronnen is zodanig opgesteld, dat het midden ervan juist in het oog van de waarnemer wordt weerkaatst en dus glimmen kan veroorzaken, terwijl de tweede lichtbron links achter de waarnemer is gezet en dus geen glimmen veroorzaakt. De lichtbron die de spiegeling veroorzaakt is een naakte fluorescentielamp. Deze kan loodrecht op de kijkrichting, dan wel in het verticale vlak door de kijkrichting zijn opgesteld. De sterkte van de lichtbron links achter de waarnemer regelt men nu zodanig, dat zij de spiegeling onderdrukt tot de grens van juist geen hinderlijk glimmen wordt bereikt. Deze proef leert, dat de opstelling van de fluorescentielamp loodrecht op de kijkrichting gunstiger is dan bij plaatsing in het verticale vlak door de kijkrichting. Eveneens leert deze proef, dat de hinder door spiegeling geringer wordt als men het licht van de fluorescentielamp steiler laat invallen. Wegens het glimmen verdient het dus bij gebruik van fluorescentielampen aanbeveling, de lichtuitstraling in schuin benedenwaartse richtingen, af te schermen. Voor kantoorverlichting is het gebruikelijk fluorescentielampen tot onder hoeken van 45° af te schermen. Bij toepassing van deze afschermhoeken, kan nagenoeg geen verschil in spiegeling worden geconstateerd als men de fluorescentielampen loodrecht of in het verticale vlak door de kijkrichting plaatst.

In het algemeen kan men zeggen, dat bij een fluorescentieverlichting waarbij de lampen zowel in dwarsrichting als in lengterichting zijn afgeschermd, de hinder door spiegeling van dezelfde orde is als die welke optreedt bij een totaal indirect verlichtingssysteem. Het spiegelen is geheel te vermijden als men het licht overwegend van links en van achter de waarnemer op het werkvlak laat vallen⁹⁾.

De helderheidsverdeling in het gezichtsveld kan door de aanwezigheid van schaduwen sterk worden beïnvloed. Schaduwen geven aan de voorwerpen hun ruimtelijke vorm, en een schaduwwerking zal dus de zichtbaarheid sterk verhogen. Anderzijds kunnen schaduwen van gereedschappen en van een arm of een hand zeer hinderlijk zijn. Harde schaduwen, vooral als ze worden gevormd door bewegende voorwerpen, bijv. een schroevendraaier bij fijn montagewerk, leiden de aandacht af en zijn zeer storend. In het algemeen geeft men de voorkeur aan zachte schaduwen. Een schaduwvlek die scherp begrensd is, maakt de indruk veel donkerder te zijn dan wanneer de overgang van donker naar licht geleidelijk verloopt. Scherpe grenzen accentueren de tegenstelling tussen schaduw en licht. De schaduwen kan men karakteriseren door twee grootheden, nl. de scherpthe van de begrenzing der schaduwvlekken en de diepte van de schaduw. De scherpthe van de begrenzing hangt af van de afmetingen van de opstellingshoogte der lichtbronnen. Naarmate

deze afmetingen groter zijn, zal de overgang van schaduw naar licht geleidelijker verlopen en wordt de schaduw minder opvallend. De diepte van de schaduw wordt bepaald door de helderheidsverhouding tussen schaduw en lichtvlekken. De schaduwwerking bij gloeilampenverlichting en fluorescentieverlichting is geheel verschillend. Bij gloeilampenverlichting heeft men te maken met betrekkelijk weinig, doch zeer geconcentreerde lichtbronnen. Hierdoor verkrijgt men scherp begrensde en diepe schaduwen. Bij fluorescentieverlichting daarentegen zijn er vele lichtbronnen van grote afmetingen, waardoor de overgang tussen schaduw en licht zeer geleidelijk verloopt en de diepte van de schaduw veel geringer is.

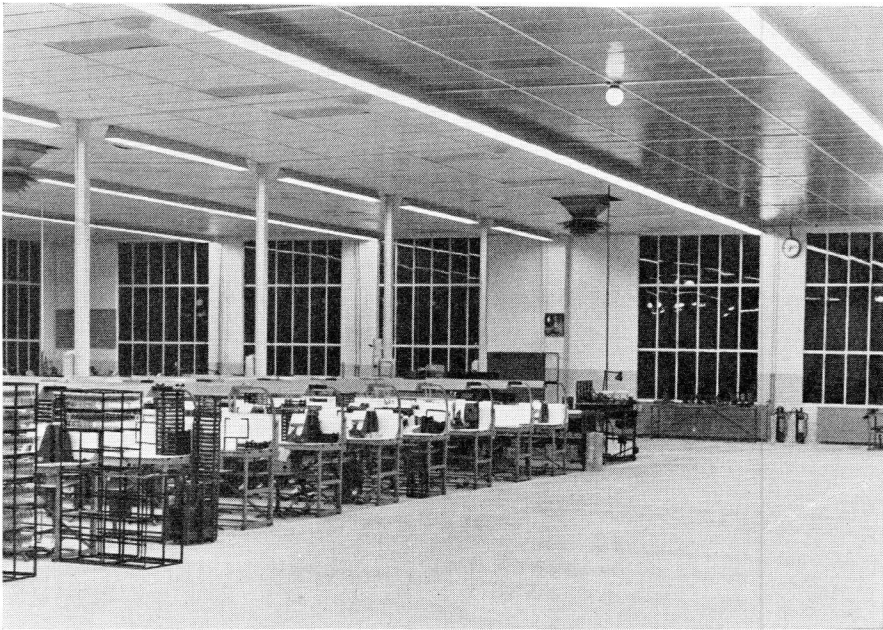
Het is zeer opvallend dat men zich bij het schatten van verlichtingssterkte dikwijls sterk laat beïnvloeden door de tegenstellingen die tussen licht en schaduw bestaan. Bij scherp begrensde, diepe schaduwen schat men in de regel de verlichtingssterkte te hoog. Aan dit feit moet het worden toegeschreven dat men een verlichting met fluorescentielampen van 500 lux veelal niet hoger schat dan 300 lux.

§ 4. OVER DE HELDERHEIDSVERDELING IN HET GEZICHTSVELD ALS MEN OPKIJKT VAN HET WERK

Gedurende de werktijd is de blik niet voortdurend op het werk gericht. Tijdens een bespreking, bij het lopen, nadenken en het even uitrusten kijkt men in nagenoeg horizontale richtingen. Als men op normale wijze de ruimte in kijkt, moet de verlichtingsinstallatie dus een indruk van comfort geven. Daartoe moet aan een aantal voorwaarden worden voldaan; donkere hoeken moeten worden vermeden; de tegenstelling tussen de helderheid van het werkvlak en die van andere vlakken in de ruimte mag niet te groot zijn; de helderheid van de armaturen moet niet zodanig groot zijn dat men zich de aanwezigheid ervan onaangenaam bewust wordt. Kortom, de helderheden in de ruimte moeten op elkaar zijn afgestemd. Vroeger werd gewoonlijk een te grote helderheid van de lichtbronnen als oorzaak beschouwd van de onaangename indruk die een verlichting kan teweegbrengen. Nu hogere verlichtingsniveau's worden toegepast, realiseert men zich, dat ook de grootte van de lichtbronnen en hun aantal van grote invloed zijn. Aan de hand van enkele voorbeelden willen wij dit toelichten. Zou men een gloeilampenverlichting met diffusoren van 150 lux willen opvoeren tot bijv. 450 lux, dan moet men driemaal zo veel lichtbronnen gebruiken. Een ruimte waarin driemaal zo veel diffusoren zijn aangebracht als gebruikelijk is ter verkrijging van 150 lux, zal beslist een onaangename indruk teweegbrengen. De helderheid van een diffusor is aan de hoge kant; zijn betrekkelijk weinig diffusoren aan-



Algemene verlichting in garage met drie enkele rijen buislampen TL-40 W.
Verlichtingssterkte gemiddeld 150 lux; lichtstroom 250 lm/m².



Montage-afdeling in radiobuizenfabriek. Algemene verlichting met dubbele rijen lampen TL-40 W, 250 lux, 640 lm/m². Plaatselijke verlichting met één buislamp TL-40 W per zitplaats.

wezig, dan kan het oog, zonder dat men zich dit bewust wordt, deze gemakkelijk ontwijken. Zijn er veel diffusoren, dan zal, als men normaal van het werk opkijkt, in het gezichtsveld steeds een storende lichtbron aanwezig zijn. Het gebruik van sterkere lampen in de bestaande diffusoren zou te hoge helderheden ten gevolge hebben, en diffusoren van grotere afmetingen zijn niet economisch te vervaardigen. Met het oog op comfort kan een hoog verlichtingsniveau niet worden verkregen met een verlichting met behulp van diffusoren. De ervaring leert, dat een gloeilampenverlichting met een niveau boven de 200 lux niet meer comfortabel is.

Ook voor een indirecte verlichting is, uit het oogpunt van comfort, het verlichtingsniveau begrensd. Kijkt men in een grote indirect verlichte ruimte in nagenoeg horizontale richting, dan zal een groot deel van het gezichtsveld door het plafond worden gevormd. De helderheid van het plafond wordt men zich bij hogere verlichtingsniveau's onaangenaam bewust.

De praktijk leert, dat voor grote ruimten met een indirecte verlichting, de helderheid van het plafond bij een niveau boven 200 lux onaangenaam aandoet. Ook wegens de warmtewerking bij gloeilampenlicht ligt de grens voor het verlichtingsniveau van een algemene verlichting bij 200 lux. De techniek waarmee men goede verlichtingsinstallaties voor een niveau van 200 lux kan verkrijgen, kan dus niet ongewijzigd worden overgenomen voor het installeren van hogere verlichtingsniveau's. Dat een eenmaal gangbare techniek nog nawerkt als nieuwe lichtbronnen ter beschikking komen, bleek duidelijk bij het verschijnen van de fluorescentielamp. De helderheid van de fluorescentielamp bedraagt ongeveer 0,4 sb, welke waarde maar weinig groter is dan de voor diffusoren toelaatbaar geachte waarde van 0,3 sb, die in verscheiden aanbevelingen voor goede verlichting is vastgelegd. Het lag dus voor de hand, dat men aanvankelijk meende de fluorescentielamp te kunnen gebruiken zonder afscherpende armaturen. Men bemerkte weldra dat, bij toepassing van naakte fluorescentielampen in grote ruimten, de verlichting niet in orde is. Dit wordt men zich bewust als men de fluorescentielampen achter in de ruimte bijv. met de hand afschermt. Men bemerkt dan dat de lampen hinderlijker zijn naarmate ze zich dichterbij het centrale gebied van het gezichtsveld bevinden. Deze ervaring met naakte fluorescentielampen richtte in 1940 in Amerika opnieuw de aandacht op de betekenis van de helderheidsverdeling in de ruimte. Een nieuwe fase in de ontwikkelingsgang van de verlichtingstechniek, die der „Brightness Engineering”, ving daarmee aan.

Om tot een comfortabele verlichting te komen, is het in de eerste plaats nodig, dat men te donkere en te heldere vlakken vermijdt. We willen niet

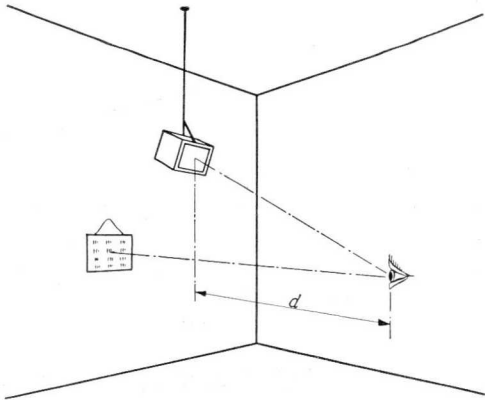


Fig. 135

Schematische voorstelling van de proefopstelling voor het bepalen van de toelaatbare helderheid.

voorhanden is, en, bij een niveau van 400 à 500 lux, ten minste 80 lux. Evenmin mag het plafond te helder zijn.

In het algemeen zijn het de armaturen die, wegens een te grote helderheid, discomfort veroorzaken. Hoe groot uit het oogpunt van comfort de helderheid mag zijn, hangt af van verscheiden omstandigheden. Zo zal men met naakte fluorescentielampen, aangebracht tegen het plafond, in een betrekkelijk kleine ruimte een bevredigende verlichting kunnen verkrijgen, terwijl naakte fluorescentielampen in een grote ruimte een indruk van onbehaaglijkheid teweegbrengen.

Een armatuur en een verlichtingswijze die voldoen in een kleine ruimte, zijn daarom nog niet geschikt voor een grote ruimte. Gegevens over de met het oog op comfort nog toelaatbare helderheden werden verkregen door een proef als schematisch is weergegeven in fig. 135. Voor deze proef had men in een grote kamer een armatuur opgehangen, waarvan men de afmetingen en de helderheid kon variëren. Voor de algemene verlichting van de ruimte gebruikte men andere armaturen. Zodoende kon men het verlichtingsniveau in de ruimte en de helderheid van de storende lichtbron onafhankelijk van elkaar variëren.

Een waarnemer werd gevraagd zich in te denken in een kantoor te zijn en, kijkend in nagenoeg horizontale richting, de helderheid van het testarmatuur zodanig in te stellen, dat juist de grens van comfortabel—discomfortabel wordt bereikt. Daartoe varieerde hij de helderheid van het testarmatuur en benaderde hij, zowel van grote helderheden als van lage helderheden, de overgang van het gebied der comfortabele naar het gebied der discomfortabele helderheden. Nu is het criterium comfortabel—discomfortabel,

suggesteren dat het vermijden van storende helderheden automatisch tot comfort zal leiden. De factor comfort van een verlichting wordt niet alleen door de helderheden bepaald; ook de kleur, de schaduwwerking en de esthetische factoren zijn van invloed. Het plafond in een grote kantoorruimte zal niet de indruk geven onaangenaam donker te zijn als hierop bij een verlichtingsniveau van 100 lux een verlichtingssterkte van ten minste 50 lux

niet scherp te omschrijven; het berust op de persoonlijke indruk. De waarnemingsresultaten lopen dan ook sterk uiteen, zodat men het oordeel van vele waarnemers moet vragen. Wij achten die helderheid toelaatbaar, welke door 50% der waarnemers nog als comfortabel wordt beschouwd.

Op deze wijze is de toelaatbare helderheid bepaald voor verschillende omstandigheden, als: grootte van het armatuur, hoogte van het armatuur, algemeen verlichtingsniveau. In het algemeen stemmen de verkregen resultaten overeen met de metingen die aan de Amerikaanse beschouwingen over comfortabele verlichting ten grondslag liggen. Aan de verkregen resultaten, die elders ¹¹⁾ zijn beschreven, ontleen wij hoe groot de toelaatbare helderheid van een diffusor met een diameter van 35 cm mag zijn, waarbij is aangenomen dat de diffusor 1,50 m boven het oog hangt. De toelaatbare helderheden, voor het geval men, in horizontale richting kijkend, op verschillende afstanden onder de diffusor gaat staan, zijn weergegeven in fig. 136. Men ziet dat, naarmate de storende lichtbron zich dichter bij de kijkrichting bevindt, de toelaatbare helderheid kleiner is.

Vergelijkt men de in verscheiden aanbevelingen nog toelaatbaar geachte helderheid voor diffusoren van 0,3 sb met de waarden van fig. 135, dan blijkt de helderheid van 0,3 sb met het oog op comfort driemaal te groot te zijn. Wij merken op, dat men, als weinig diffusoren aanwezig zijn, de blik automatisch zó kan richten, dat geen hinder wordt ondervonden en de verlichting toch als comfortabel wordt beschouwd. Zijn er veel diffusoren, dan geeft de verlichting de indruk discomfortabel te zijn.

Ook de fluorescentielamp kan niet naakt worden gebruikt, en zal meer hinder veroorzaken naarmate zij zich dichter bij het centrale deel van het gezichtsveld bevindt. De directe stralen van fluorescentielampen moeten dus in de richtingen waarin ze hinder kunnen veroorzaken worden afgeschermd. In de armaturenbouw is het gebruikelijk daartoe onder de lampen verticale schermen te plaatsen. De lichtuitstraling in horizontale richting kan men beperken door voor de zijwanden niet-lichtdoorlatend of lichtdiffuserend materiaal te gebruiken. Met verticale schotten, die samengesteld kunnen zijn tot lichtroosters, bereikt men, dat de lichtuitstraling recht naar beneden niet wordt verminderd, terwijl in schuin benedenwaartse richtingen het zichtbare oppervlak van de lampen wordt verkleind.

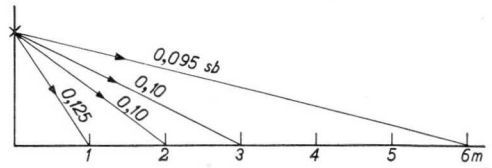


Fig. 136

De toelaatbare helderheid van een diffusor die is opgehangen op 1,50 m boven het horizontale vlak door het oog, als functie van de horizontale afstand van oog tot armatuur; helderheid omgeving = 3×10^{-3} sb.

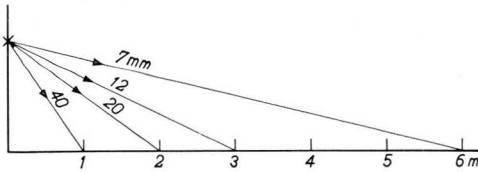


Fig. 137

Het toegestane zichtbare oppervlak van een fluorescentielamp 40 W, bij ophanghoogte 1,50 m boven het oog, als functie van de horizontale afstand van oog tot lamp; helderheid omgeving 3×10^{-3} sb.

laboratoriummodel van een armatuur voor fluorescentielampen plaatst, telkens het zichtbare oppervlak van de fluorescentielamp met behulp van een spleet zodanig instellen dat hij, kijkend in horizontale richtingen, van het proefarmatuur de indruk krijgt dat dit juist op de grens van comfortabel – discomfortabel is. De resultaten die men verkrijgt bij gebruik van een fluorescentielamp van 40 watt zijn weergegeven in fig. 137. Bevindt men zich onmiddellijk onder de lamp, dan heeft men geen behoefte aan afscherming. Staat men op grotere afstanden onder de lamp, dan neemt het toelaatbare zichtbare oppervlak van de lamp af.

Deze proeven zijn gedaan met een armatuur dat een lengte heeft van resp. 0,60, 1,20 en 2,40 m. Hiermede heeft men het geval willen nabootsen waarbij de fluorescentielampen in rijen zijn gemonteerd. Men zou nu verwachten, dat het toelaatbare zichtbare oppervlak van de lampen kleiner kan zijn naarmate de lamp korter is. Men heeft het geheel onverwachte resultaat gevonden, dat het toelaatbare oppervlak nagenoeg onafhankelijk is van de lengte van de lamp.

Ten einde de toelaatbare helderheid voor een armatuur voor fluorescentielampen te bepalen, werd de lichtkast in fig. 135 vervangen door een lichtkast waarvan de lengte 1,40 m is en de hoogte 10 cm. De waarnemer kon de helderheid van het opaalglas variëren. In geval dit imitatiearmatuur voor fluorescentielampen op 1,50 m boven het oog wordt gehangen, zijn de toelaatbare helderheden voor verschillende afstanden onder het armatuur weergegeven in fig. 138.

Op het gebied der helderheidstechniek zijn er nog vele pro-

We zullen ons nu bezighouden met de vraag, hoe groot het zichtbare oppervlak van een fluorescentielamp, gezien uit verschillende richtingen, nog mag zijn, en vervolgens nagaan welke eisen aan de helderheid van de zijwanden moeten worden gesteld. Daartoe laten we een waarnemer, die zich op verschillende afstanden onder een

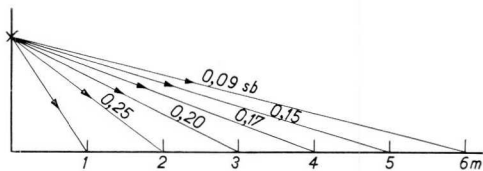


Fig. 138

De toelaatbare helderheid van een fluorescentiearmatuur, bij een ophanghoogte van 1,50 m boven het oog, als functie van de horizontale afstand van oog tot armatuur; helderheid omgeving 3×10^{-3} sb.

blemen. We hebben ons in hoofdzaak bepaald tot de toelaatbare helderheden voor één armatuur. In de regel zijn vele armaturen in het gezichtsveld aanwezig, en men zou verwachten dat dan de helderheid kleiner zal moeten zijn. Op grond van ervaringen, opgedaan met armaturen die aan de hierboven beschreven eisen voldoen, kan men zeggen dat hiermede, ook in grote ruimten, bevredigende verlichtingsresultaten worden bereikt.

We hebben ons beziggehouden met de hoogste grens der helderheid. Ook voor armaturen geldt, dat de tegenstelling tussen lichte en donkere gedeelten niet groot mag zijn. Als men niet-lichtdoorlatend materiaal voor de zijwanden gebruikt, zal men moeten trachten met lichtspelen e.d. deze zijwanden te doen oplichten. Gegevens over de uit het oogpunt van comfort laagste toelaatbare helderheden staan nog niet ter beschikking.

LITTERATUUR

- 1) H. C. WESTON: *Industrial health report nr. 87*, H. M. Stationery Office, London 1945.
- 2) A. A. KRUIHOF en A. M. KRUIHOF: *Grondslagen voor het opstellen van verlichtingsnormen*, Philips technisch tijdschrift 10, 176, 1948.
- 3) M. A. TINKER: *Trends in illumination standards*, Ill. Eng. 43, 866, 1948.
- 4) M. E. BITTERMAN: *Lighting and visual efficiency present status of research*, Ill. Eng. 43, 906, 1948.
- 5) E. SCHNEIDER: *Kritische Betrachtung über die neufestgelegten Amerikanischen Beleuchtungsstärken*, Bull. SEV, 40, 103, 1949.
- 6) P. W. COBB: *The effect on foveal vision of bright surroundings*, Journ. Expr. Psych. 1, 540, 1916.
- 7) R. J. LYTHGOE: *Visual perceptions under modern conditions*, Trans. I.E.S. London 1, 3, 1936.
- 8) R. O. SCHUMACHER: *Die Unterschiedsempfindlichkeit des helladaptierten menschlichen Auges*, Das Licht 11, 134, 1941.
- 9) WARD HARRISON: *Some frontiers of the lighting Art*, Trans. Ill. Eng. Soc. London 13, 121, 1948.
- 10) D. VERMEULEN en A. WALLER: *De invloed van het glimmen van papier op de zichtbaarheid van gedruken tekst en schrift*, Electrotechniek 25, 45, 1947.
- 11) D. VERMEULEN en J. B. DE BOER: *On the admissible brightness of lighting fixtures*, Rapport Commission Internationale de l'Éclairage, 1948.

TOEPASSING VAN TL-LAMPEN

§ 1. INLEIDING

De ontwikkeling en de productie op grote schaal van fluorescentie-buislampen zijn nog jong. Door de tweede wereldoorlog werd deze ontwikkeling vrijwel stilgelegd tot 1945. In Amerika en Engeland had men door de oorlogsindustrie een grote behoefte aan kunstlicht, omdat men daar dag en nacht in ploegen moest doorwerken. Deze omstandigheid was enerzijds bevorderlijk voor het gebruik van het fluorescentielicht, in hoofdzaak in de oorlogsindustrie, maar anderzijds werd in beide landen de verdere ontwikkeling en het gebruik van de fluorescentie-buislampen in het normale leven sterk geremd. Wij zien dus pas sinds 1945 het aantal gebruiksmogelijkheden van de fluorescentieverlichting belangrijk toenemen, en nog steeds komen vele nieuwe toepassingen en constructies de thans reeds talrijke mogelijkheden vergroten.

De redenen van het grote succes van de fluorescentie-buislampen zijn gemakkelijk aan te wijzen. Deze lampen leveren ongeveer het viervoud van de lichtstroom die gloeilampen van hetzelfde vermogen kunnen opbrengen. Dank zij haar grote lengte en betrekkelijk lage helderheden, geven de fluorescentie-buislampen een verlichting met sterk verstrooid karakter, waardoor de schaduwen zacht zijn en de glimlichten zelden hinderlijk worden. Verder is van groot belang, dat de kleur van het fluorescentielicht, door een geschikte samenstelling van de lichtgevende poeders, iedere noodzakelijk geachte nuance kan vertonen, iets wat met gloeilampen of gasontladingslampen niet is te bereiken. Door deze totaal verschillende en nieuwe karakteristieken van deze nieuwe lichtbron, heeft de verlichtingstechniek, welke voordien geheel op gloeilampen was gebaseerd, een grondige verandering ondergaan. Geheel nieuwe inzichten omtrent het goed zien en het aangenaam en gemakkelijk waarnemen, breken zich baan. Het bleek dat de verschillende regels der verlichtingstechniek, gebaseerd op de bij gloeilampen optredende omstandigheden, niet altijd opgaan bij een gewijzigde situatie. Het meest verrassende was, dat hier de plotselinge grote technische vooruitgang zulke grote wijzigingen in de omstandigheden met zich meebracht, dat

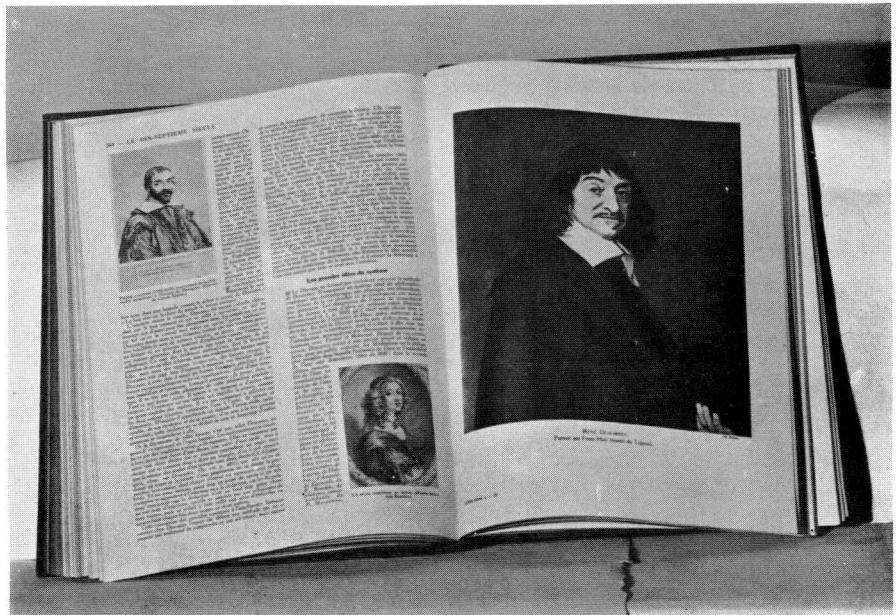
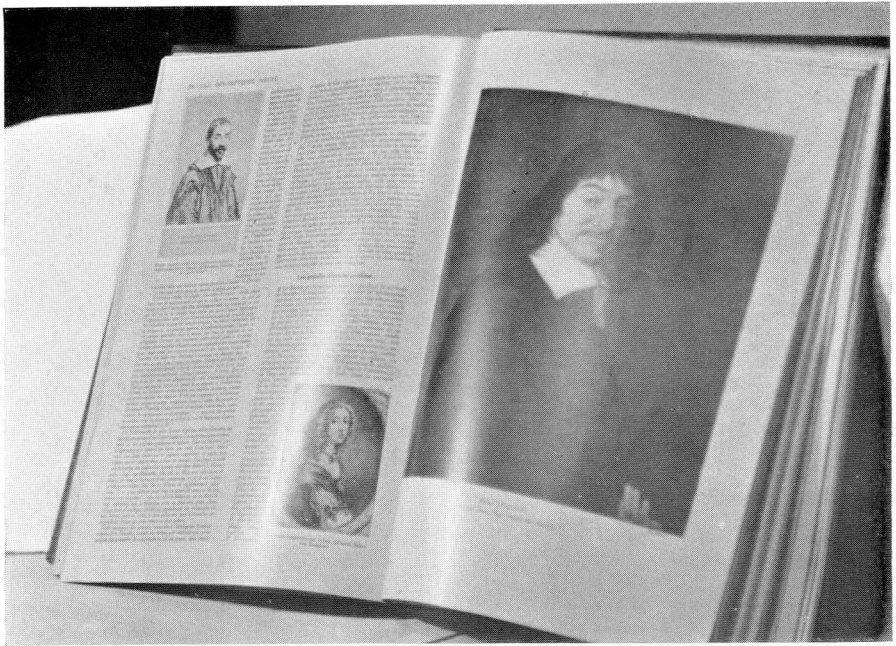


Fig. 139a en b

De richting van de verlichting is zeer belangrijk bij het zien van glanzende voorwerpen.

Hier is hetzelfde boek gefotografeerd bij verschillende standen van de lichtbron.

De hinderlijke spiegelingen in fig. a maken het lezen bijna onmogelijk.

een uitbreiding van de wetenschap van het zien en van de verlichtingstechniek dringend nodig bleek.

Tot nu toe had als het enige criterium gegolden, de verlichtingssterkte op de taak, terwijl excessieve helderheden van de lichtbron moesten worden vermeden. Nu het plotseling mogelijk was geworden veel grotere verlichtingssterkten toe te passen, kon dit criterium niet worden aangehouden. Het onverwachte verschijnsel deed zich voor, dat ruimten die oorspronkelijk met gloeilampen waren verlicht tot een bepaald niveau, bij het verdubbelen of verdrievoudigen van de verlichtingssterkte — waarbij dus alle helderheidsverhoudingen in de ruimte dezelfde bleven — plotseling aanleiding gaven tot klachten over ongemakkelijk zien. Het bleek nodig het gehele beeld dat de gebruiker van een ruimte binnen het normale gezichtsveld ziet, te bestuderen, de helderheden van de onderdelen ervan onderling af te stemmen, en dus met de verandering van het verlichtingssysteem tevens een verandering aan te brengen in de kleuren en de oppervlakken van alle zichtbare voorwerpen in die ruimte.

Aldus ontstond een geheel nieuwe „helderheidstechniek”. Deze heeft tot taak door toepassing van de juiste verlichtingssterkten, kleuren en reflectievermogens, de verschillende helderheden van de lichtterugkaatsende vlakken binnen het normale gezichtsveld van de gebruiker van de ruimte, zo op elkaar af te stemmen, dat ook bij de moderne grotere verlichtingsinstallaties een aangenaam beeld wordt verkregen. Het ontwerpen van een goede verlichtingsinstallatie met de nieuwe lichtbron bestaat daarom niet langer uit het aannemen van een geschikte verlichtingssterkte op het werkvlak, het berekenen van de daartoe nodige lichtstroom en het vaststellen van type en grootte der lichtbron (dit laatste in verband met de lichtstroom van de lichtbron, het armatuur en de ruimte).

Een goed, modern verlichtingsproject kan slechts ontstaan als de ontwerper zich in gedachten of in werkelijkheid zet voor de taak en op de plaats van de gebruiker van de ruimte. Hij moet nu twee beelden bestuderen. Het ene beeld is hetgeen hij ziet bij het observeren van de taak; het andere neemt hij waar bij het opkijken om even uit te rusten. De taak zelf moet zo goed mogelijk worden verlicht, d.w.z. zo, dat de details ervan perfect zichtbaar zijn, door contrast (lezen), door licht en schaduw (boekbinden of naaien) en door glimlichten gecombineerd met schaduw (letterzetten). De omgeving van de taak zou men nog in twee zones kunnen verdelen, te weten: de directe omgeving en de buitenste rand van het gezichtsveld. De directe omgeving moet niet te grote kleur- en helderheidscontrasten vertonen en prettig, zo mogelijk „mooi”



Fig. 140

Een goede verlichting is niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid licht op het werk; kleur en richting van het licht spelen eveneens een rol. Opdat bijv. een letterzetter de verschillende lettertypen zal kunnen onderscheiden, is er een zekere richting van het licht nodig om voldoende vormwerking door schaduw en glimlichten te voorschijn te roepen. De glimlichten mogen echter niet te helder zijn, daar dit verblindend kan werken.

aandoen. Te sterke contrasten, zowel in kleur als in helderheid, kunnen afleidend en hinderlijk werken, evenals spiegeling, waardoor het beeld van de lichtbron in de kijkrichting wordt teruggekaatst. Ook verblinding door te grote helderheden, meestal van de lichtbron zelf, moet worden vermeden.

De verder van de taak af liggende omgeving, de derde zone dus, moet zo weinig mogelijk de aandacht trekken, dus lagere helderheden vertonen dan de taak en de directe omgeving; de kleuren moeten er rustig zijn en zodoende medewerken tot het vormen van een geconcentreerd beeld. De taak zelf, dit is het geheel van voorwerpen waar men bij de arbeid mee bezig is, vraagt de meeste aandacht en bepaalt de aard van de verlichting in de eerste plaats.

Bij het lezen wil men alleen contrasten zien in een plat vlak, dus zwarte letters op zo wit mogelijk papier. Schaduwwerking is hier onnodig; bij het schrijven is deze zelfs ongewenst. Men kieze dus in de eerste plaats de voor het lezen gewenste verlichtingssterkte die een bepaalde helderheid van het papier veroorzaakt, en zorgt er verder alleen voor dat door voldoende lichtverstrooiing en door een juiste richting van het licht, hinderlijke spiegeling wordt vermeden (zie fig. 139a en b).

Een naaister daarentegen zal bij haar werk heel dikwijls aan volkomen diffuus licht niet genoeg hebben, omdat zij het reliëf van de draden van het weefsel moet kunnen zien. Zij zal voor lichte en witte stoffen minder licht nodig hebben dan voor donkere en zwarte stoffen, die slechts $\frac{1}{5}$ of $\frac{1}{10}$ van het licht reflecteren dat door lichte stoffen wordt weerkaatst. Voor donkere stoffen zal dus, behalve veel meer licht, nodig zijn dat het licht zó gericht is, dat de nodige schaduwwerking inderdaad ontstaat.

Een letterzetter moet de grauwe, enigszins glimmende metalen lettervormen onderscheiden, en hij kan dit hoofdzakelijk met behulp van schaduw en glimlichten. Deze mogen op zich zelf echter weer niet te hard en verblindend zijn; dus is het gebruik van directe lichtbronnen van beperkte helderheid en van een tamelijk groot oppervlak het meest aanbevelenswaardig (fig. 140).

Uit het voorafgaande zal het de lezer reeds duidelijk zijn, dat de moderne verlichtingstechniek met de moderne fluorescentie-lichtbron, aan de ontwerper van verlichtingsinstallaties geheel nieuwe en veel uitgebreider problemen stelt dan vroeger. Voor vele gevallen die prototypen zullen moeten zijn voor verdere toepassingen, en in bijna alle gevallen waarin bijzonder veel waarde wordt gehecht aan een aangenaam verblijf, zal men een intense samenwerking moeten zoeken tussen verlichtingsdeskundige en binnenhuisarchitect. Immers, zoals reeds gezegd, beheerst het beeld de uiteindelijke indruk die een ruimte geeft. Dit beeld nu

wordt bepaald door een combinatie van factoren: verlichtingssterkte, helderheden, kleuren, oppervlakken en vormen. De hier bedoelde samenwerking heeft tot nu toe slechts zelden plaats gehad, en het blijft moeilijk een onderling begrip voor elkaars problemen te vinden. Aan de ene kant ligt dit zeker aan de verlichtingstechnicus, die zich liefst aan feiten en cijfers houdt en die een zekere angst heeft voor moeilijk meetbare invloeden als kleuren, verhoudingen, vormen en materiaalstructuur. Maar ook de binnenhuisarchitect is, waar het licht betreft, in zijn beslissingen dikwijls onzeker; hij houdt zich daarom gaarne aan beproefde recepten. Toepassing van de nieuwe verlichtingstechniek behoort tot nu toe dan ook nog tot de zeldzaamheden.

Wij menen in grote lijnen de samenstelling van het ideale verlichtingsbeeld als volgt te moeten onschrijven: Het oog wordt aangetrokken door het helderste vlak of voorwerp binnen het gezichtsveld. Het is dus redelijk, dat dit helderste vlak samenvalt met het werkvlak, dus met de voorwerpen die wij willen zien. Ware dit niet het geval, dan zouden wij ons een onaangename dwang moeten opleggen, ten einde onze blik op de taak gericht te houden. Het is echter duidelijk, dat deze aandacht evenzeer wordt beïnvloed door de kleur van de voorwerpen. Er zijn ongetwijfeld aantrekkelijke en opvallende kleuren en onaangename of onopvallende kleuren. Men zou alle bestaande kleuren ongeveer als volgt kunnen indelen (maar wij zijn ervan overtuigd, dat deze indeling vrij subjectief is): Allereerst de aantrekkelijke en opvallende kleuren, die wij vooral onder de „warme kleuren” zouden moeten zoeken, dus rood, purper, oranje en oker. Dan de „koele kleuren”: blauw, blauw-groen, groen, grijs. Een vrijwel algemeen ondervonden gewaarwording is, dat rood en andere warme kleuren dichterbij lijken te zijn dan de koele. Verder zijn er de agressieve kleuren, als geel, violet, hard geel-groen enz., en ten slotte de neutrale kleuren, als crème, beige, donkerbruin, grijs-groen, bruin-grijs enz. Als men nu in een interieur een helderheidspatroon vaststelt, dan moet men, samen met de binnenhuisarchitect, in dit helderheidspatroon tevens de kleuren uitzoeken die de werking van dit patroon uiteindelijk accentueren, dus opvallende, aantrekkelijke en warme kleuren gebruiken ter plaatse waar de helderheid het grootst is; dit is op en direct om de taak, en koelere en neutrale kleuren naarmate men in het blikveld verder van de taak is verwijderd.

Om onze bedoeling duidelijk te maken zouden wij een parallel willen trekken met een goed, algemeen gewaardeerd schilderij. Ook de schilder heeft namelijk de bedoeling een mooi, aangenaam en aantrekkelijk beeld te vormen. Nemen wij een portret van Holbein: Het zwaartepunt der belangstelling heeft ongetwijfeld het gezicht, dat met de lichte

en warme vleeskleur, de rode lippen, het lichtspel in de ogen, de grootste attractie heeft. De aandacht hierop wordt nog sterker getrokken door de donkere omlijsting van haar, baret, bontkraag en kleren, en het geheel komt naar voren op een blauw-groene achtergrond, die koel is en zich in de verte terugtrekt.

Nemen wij nu als voorbeeld een kantoor. Het blikveld van degene die aan een bureau zit te werken is maatgevend voor de eisen die aan de inrichting zijn te stellen. De taak zelf moet een zo duidelijk mogelijk contrast opleveren; men gebruike het liefst helder wit papier met intens zwarte letters; alle oppervlakken neme men zo mat mogelijk, ten einde onaangename spiegeling te voorkomen. Om het witte papier heen zal men het blad van het bureau in een licht warm bruin-rood willen maken, ten einde het contrast met het papier zo klein mogelijk te houden en de directe omgeving van de taak aantrekkelijk en warm te doen zijn. De achtergrond van het tafelblad wordt gevormd door bijv. grijs, donker-groen of donkerbruin linoleum als vloerbedekking, terwijl de omringende wanden koel groen of blauw-grijs kunnen zijn. Op de wand tegenover het bureau zou men voor het uitrustend opkijken een aantrekkelijk aandachtscentrum kunnen aanbrengen in de vorm van een licht en levendig gekleurd schilderij. Het plafond en de lichtornamenten, voorzover deze binnen het blikveld vallen, moeten zo weinig mogelijk helder zijn en zeker neutraal van kleur.

Wij weten dat vele van de denkbeelden die wij hier te berde brengen, nog niet door statistische proeven en metingen aan een groot aantal proefpersonen gestaafd zijn kunnen worden; het zal ook moeilijk blijken dit te doen. Ook is waar, dat vele proeven waarbij menselijke reacties op bepaalde verlichtingstoestanden moeten worden vastgesteld, moeilijk en dikwijls aanvechtbaar blijken te zijn. Wij moeten echter met de nieuwe verlichtingsmogelijkheden die door de fluorescentie-buislampen zijn ontstaan, zo goed mogelijk leren werken. Men zal daarom goed doen zich van meet af aan te realiseren dat het scheppen van bevredigende en aangename verlichtingen in een ruimte tegenwoordig alleen mogelijk is door een nauwe samenwerking tussen de binnenhuisarchitect of decorator en de verlichtingsdeskundige, waarbij beiden zich zo goed mogelijk zullen moeten inleven in het werk en de situatie van de gebruiker van de ruimte.

De practijk vraagt dus van de ontwerper het kiezen en daarna het realiseren van bepaalde kleuren en helderheden voor alle vlakken die in een ruimte zichtbaar zijn. De kleuren zal hij in de eerste plaats in samenwerking met de architect vaststellen. Daarbij moet hij echter de architect laten kiezen uit kleuren en tinten die een min of meer vast-

liggend reflectievermogen hebben. De helderheid van de vlakken worden namelijk door dit reflectievermogen bepaald tezamen met de hoeveelheid licht die op ieder vlak valt. Dikwijls zal de hoeveelheid licht op twee elkaar begrenzende vlakken ongeveer even groot zijn. Indien men dan verschil in helderheid wenst, zal men dat moeten vinden in het verschil van reflectievermogen, dus in de keuze van de stoffen, de kleuren en de textuur van het oppervlak. Zijn echter de voorwerpen die men naast elkaar ziet, in werkelijkheid ver van elkaar verwijderd, bijv. het blad van een bureau en de wanden van het kantoor op enige meters afstand, dan kunnen de verlichtingssterkten op die vlakken grote verschillen vertonen. Men zal dan uitsluitend door middel van kleuren en tinten van het bureaublad en de wanden naar een goede oplossing van het helderheidsprobleem moeten zoeken. Het is merkwaardig, dat voor duidelijk zien in de taak zelf veel grotere contrasten dan 1 : 3 gewenst kunnen zijn. Van duidelijk drukwerk bijv. reflecteren de zwarte letters 5 à 6% van het licht, en het witte papier 10 à 15 maal zoveel, een contrast dus van 1 : 10 of 1 : 15. Men moet zich echter het veld van de taak zelf van een beperkte grootte denken, bijv. liefst binnen een kegel met een tophoek van $2 \times 30^\circ$. Voor het creëren van het interieur zijn het

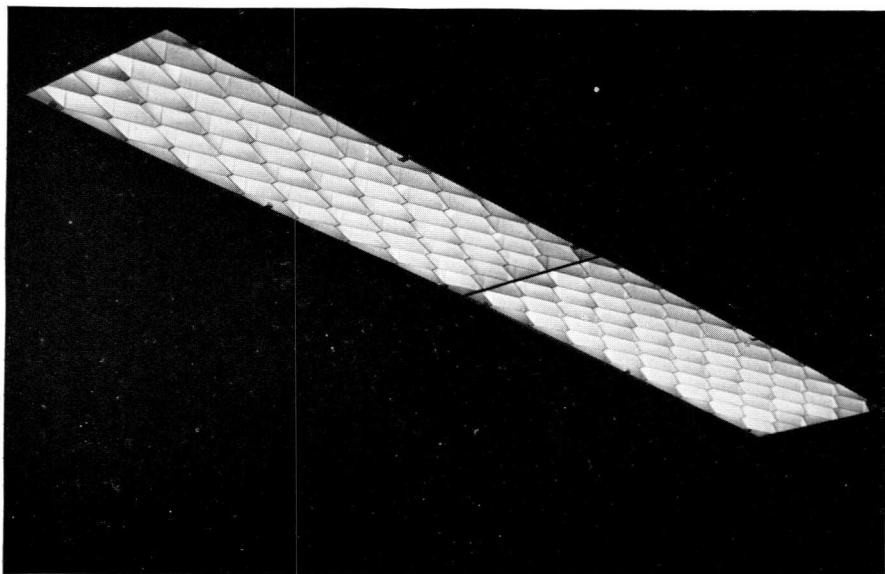


Fig. 141

Door middel van een „louvre” systeem, een lichtrooster van verticale metalen schotjes, kan men het direct zien van de hoge helderheden van de lampen verhinderen; toch kan het licht vrij naar beneden uitreden.

dus de kleurcontrasten en helderheden buiten die kegel die van het grootste belang zijn.

De grootste moeilijkheden ondervindt men bij het vermijden van te grote contrasten en ook grote helderheden in en om de lichtbron zelf. Voor fluorescentie-buislampen is het noodzakelijk gebleken te vermijden de lampen direct zichtbaar op te stellen in alle ruimten waar de gebruiker geruime tijd, bijv. langer dan 20 minuten, in dezelfde richting moet kijken. Vandaar dat men ook steeds meer gebruik ziet maken van afschermingen die de lampen in de kijkrichting onzichtbaar maken. Zowel opzij van de lampen als eronder gebruikt men hiervoor gaarne verticale schotjes, omdat aldus de stofafzetting en het daardoor ontstane lichtverlies tot een minimum worden beperkt. Soms worden deze schotten uit diffuserend glas vervaardigd, maar de breekbaarheid van glas heeft overal doen zoeken naar andere materialen, bijv. diffuserend plastic en, zeer veel, gelakt plaatijzer en aluminium (zie fig. 141).

Wij zullen trachten in de hier volgende voorbeelden steeds, naast een zakelijke beschrijving van de installatie, verklaringen te geven betreffend de uiteindelijke indruk die de beschreven ruimte geeft, dank zij de juiste keuze van het verlichtingssysteem, helderheden, kleuren en hoedanigheden van alles wat wij in deze ruimte zien.

§ 2. VERLICHTING IN DE INDUSTRIE

In industriële objecten wordt het verlichtingssysteem bepaald door de goede verlichting van de taak. In zeer vele gevallen kan men de kleuren van het werkstuk en van zijn directe omgeving, evenmin als het oppervlak ervan, beïnvloeden. Men denke bijv. aan het leer in een schoenfabriek, aan witte weefsels op de weefstoelen, aan glimmend staal of messing op de werktuigmachines in een machinefabriek. Hier zal men dus een zo goed mogelijk resultaat moeten zien te bereiken, door in de eerste plaats een juiste verlichtingssterkte te kiezen en het licht uit de juiste richting te doen komen. De volgende factoren zijn daarbij van belang:

1. De aard van de verlichting, die afhankelijk is van de verhouding tussen de diffuse (soms indirect) en de gerichte lichtstroom op het werkstuk. De aard van de verlichting bepaalt de hardheid en de diepte van de schaduw en de mate waarin glimlichten en glans optreden.
2. De hoofdrichting van de verlichting, die de richting van de schaduw bepaalt, evenals de richting waaruit in hoofdzaak de glimlichten zullen worden gezien.
3. De verblindende werking, dit is de storende invloed, veroorzaakt door overmatig heldere, zichtbare delen van de lampen of lichtorna-



Fig. 142

In de industrie, waar de arbeider meestal op één bepaalde plaats staat en dus in één bepaalde richting kijkt, is het van belang de TL-lampen, voor zover zij in het normale gezichtsveld zichtbaar zouden zijn, af te schermen. In deze treksteenfabriek is dit gebeurd door het aanbrengen van verticale aluminium dwarsschotjes, die de buislampen aan het gezicht onttrekken en aldus een veel lagere zichtbare helderheid aan de lichtbron geven.

menten en van hun eventueel optredende spiegelbeelden. Ook kan z.g. contrastverblindings optreden, indien heldere vlakken onmiddellijk grenzen aan zeer donkere.

4. De gelijkmatigheid van de verlichtingssterkte in het werkvlak.

5. De lichtkleur.

6. De verlichtingssterkte op het werkvlak.

In het algemeen geldt dat, naarmate de taak moeilijker is, de verlichting diffuser moet zijn en de verlichtingssterkte hoger. De fluorescentie-buislamp kan deze beide voorwaarden op eenvoudige wijze vervullen. Bij deze installaties zal ook de gelijkmatigheid op het werkvlak groot zijn en de storende verblindings bij het gebruik van normale reflectoren onwaarschijnlijk. De hoofdrichting van de verlichting is meestal loodrecht omlaag; dit is voor de meeste taken de gewenste richting. De lichtkleur is alleen van belang waar kleurherkenning en -vergelijking en contrôle nodig zijn. De witte kleur van het fluorescentielicht past zich zeer wel

aan bij de kleur van het daglicht, zodat beide lichtsoorten uitstekend tezamen kunnen worden gebruikt in ruimten waar daglicht permanent of tijdelijk in zijn taak te kort schiet. De witte lichtkleur heeft nog een groot voordeel, in het bijzonder voor installaties waarbij meer dan 200 lux op het werkvlak gewenst is. Gloeilampenlicht geeft bij deze grote verlichtingssterkten, bijv. 300—500 lux, dikwijls een minder aangenaam effect. Fluorescentielicht doet het juist bij hoge verlichtingssterkten uitstekend, terwijl daarentegen de witte lichtkleur bij zeer lage verlichtingssterkten, bijv. onder 100 lux, onaangenaam en grauw aandoet.

Verlichtingssterkten tot 300 lux kunnen zonder bezwaar worden bereikt met een algemene verlichting. Zijn hogere verlichtingssterkten nodig, dan dient een keuze te worden gedaan tussen een algemene verlichting die werkelijk deze verlichtingssterkte levert, en een algemene verlichting van geringere sterkte, ondersteund en aangevuld door plaatselijke verlichtingen. Deze laatste oplossing is steeds nodig indien in een lokaal een bijzondere taak hogere eisen stelt dan de overige taken die in de ruimte worden verricht. In het bijzonder geldt dit indien deze eisen afwijken met betrekking tot kleur, geaardheid of richting van de verlichting.

Ook voor plaatselijke verlichting zijn fluorescentielampen in het algemeen bijzonder geschikt. Ze leveren, dank zij hun grote lengte, een diffuse verlichting; hun warmte-ontwikkeling, in het bijzonder de warmtestraling, is gering, en de glimlichten die zij veroorzaken hebben een betrekkelijk lage helderheid. Bovendien is het mogelijk, door het aanbrengen van strooiruiten onder de reflectoren, de verkregen verlichting een zeer hoge graad van verstrooiing te verlenen. Waar het gaat om het zien en vergelijken van kleuren, kan men gebruik maken van lampen met daglichtkleur.

De sterkte van een plaatselijke verlichting moet in de regel ongeveer het dubbele bedragen van de waarde die voor dezelfde taak bij gebruik van algemene verlichting nodig wordt geacht. De algemene verlichting kan dan tot ongeveer de helft van de voor de taak nodige sterkte worden gereduceerd, in lokalen met licht gekleurde wanden zelfs wel tot lagere waarden.

De wijze waarop de armaturen voor de algemene verlichting van de ruimte worden aangebracht en verdeeld, wordt in de eerste plaats bepaald door de aard van het werk en de opstelling van de arbeiders. Veelal echter zal men rekening moeten houden met de bouw en de constructie van het lokaal, de ligging en de onderlinge afstanden van plafondbalken, de richting en de afmetingen van shed-daken en dergelijke factoren. In het algemeen zal men de armaturen in doorlopende of in onderbroken, evenwijdige rijen aanbrengen, ter verkrijging van een ordelijk geheel. In



Fig. 143

Soms veroorzaken evenwijdige rijen lichtbuizen hinderlijke schaduwen, die zijn te wijten aan evenwijdig aan deze rijen liggende voorwerpen. In dat geval kan men, door de lichtbuizen in loodrecht op elkaar staande rijen aan te brengen, alle hinderlijke schaduwen vermijden. Wij wijzen in deze afbeelding op het gebruik van enige omhoog gerichte reflectoren, die het plafond verlichten en dus het sterke contrast tussen de lichtornamenten en het plafond sterk verminderen.

een langwerpige lokaal krijgt men de sterkste indruk van rust indien de rijen evenwijdig aan de lange wanden lopen. Het verlichtingsrendement is echter in dit geval, in het bijzonder bij gebruik van reflector-armaturen, iets lager dan bij opstelling loodrecht op de lengterichting. Bezieet men de richting der armaturen-rijen in verband met de uit te voeren arbeid, dan biedt een opstelling loodrecht op de algemene kijkrichting het voordeel, dat een rigoureuze afscherming van de lampen op eenvoudige wijze kan worden verkregen. Door de hoogte van het naar de arbeiders gekeerde reflectorvlak te variëren, kan deze afscherming onder iedere gewenste hoek geschieden. Plaatsing van de rijen in de algemene kijkrichting levert een rustiger beeld op. In de lengterichting is bovendien de helderheid van de lampen aanzienlijk geringer dan in de dwarsrichting, zodat afschermingsmaatregelen minder urgent zijn. Zijn deze maatregelen toch nodig, dan worden 3 of 4 afschermingschotjes loodrecht onder iedere lamp of groep van lampen aangebracht (fig. 142).

Bij uitzondering komt het voor, dat de evenwijdig geplaatste lampen ongewenste slagschaduw veroorzaken achter langgerekte voorwerpen, als bijv. een liniaal op een horizontaal geplaatst tekenbord. Het kan dan aanbeveling verdienen de lampenrijen in twee loodrecht op elkaar staande richtingen aan te brengen (fig. 143). Schuin verlopende rijen zouden dezelfde verbetering opleveren, doch tevens een element van onrust introduceren. Door een verandering in de opstelling van de arbeiders met hun toebehoren kan trouwens hetzelfde resultaat worden bereikt.

In verreweg de meeste gevallen kunnen verlichtingsinstallaties in industrieruimten worden uitgevoerd met geëmailleerde of gemoffelde metalen reflectoren. Deze reflectoren bevatten 1, 2 of meer fluorescerende lampen. Meestal zijn ze zo geconstrueerd, dat aaneenkoppeling tot doorlopende rijen mogelijk is. Ter wille van het algemene aspect van de werkruimte is het nodig, dat ook enig licht in bovenwaartse richting wordt gezonden, zodat het plafond en het bovenste gedeelte van de wanden niet in duisternis gehuld blijven, wat aan het lokaal een onbehaaglijk uiterlijk zou geven, terwijl een sterk contrast zou optreden tussen de heldere binnenvlakken der reflectoren en hun achtergrond. In een lokaal, waarvan het plafond grotendeels met ramen is bezet, is hiertegen niets te doen. In alle andere gevallen, shedbouw niet uitgezonderd, doet men goed, de plafonds in een lichte kleur te schilderen en mede te verlichten. Daartoe worden de reflectoren van de algemene verlichting aan de bovenzijde voorzien van gaten of sleuven die enig licht doorlaten (deze uitvoeringsvorm is in de handel verkrijgbaar), of wel enkele reflectoren worden omgekeerd gemonteerd, zodat zij uitsluitend het plafond en het bovengedeelte van de wanden verlichten. Ter verlaging van het helderheidscontrast tussen de buitenvlakken van de reflectoren en hun achtergronden, kunnen de armaturen in een lichte kleur (grijs of gebroken wit) worden afgewerkt.

Voor een plaatselijke verlichting gelden dezelfde overwegingen en regels als voor een algemene verlichting. Het in acht nemen van deze regels eist hier zelfs meer aandacht, aangezien plaatselijke verlichting wordt gebruikt voor moeilijke en soms zeer zware oogtaken. Zou men zich nu in een lokaal, waarin voor iedere werkstand een afzonderlijke verlichting nodig is, beperken tot het aanbrengen van uitsluitend plaatselijke verlichting, dan zou een te grote ongelijkmatigheid in de verlichtings-toestand van het lokaal optreden. De grote helderheidsverschillen tussen de oppervlakken die de arbeider ziet gedurende het uitvoeren van zijn taak en het opkijken van zijn werk, zouden zich als een ongunstige factor



Fig. 144

Somtijds is het onnodig het gehele oppervlak van de werkruimte gelijkmatig te verlichten. Heeft men dus, zoals op deze afbeelding, op de montageband geconcentreerd licht nodig, dan kan men de algemene verlichting veel lager aanbrengen, waardoor op het werkvlak een hogere verlichtingssterkte ontstaat dan in de loopgangen ertussen. Dit is dus een overgang van algemene naar plaatselijke verlichting. — Men lette op de naar boven gerichte armaturen die, op regelmatige afstand aangebracht, het plafond de helderheid geven die nodig is voor een aangename ruimte-indruk.

doen gevoelen. Om dit gebrek op te heffen is een algemene verlichting van het lokaal nodig. Er zijn echter gevallen waarin de plaatselijke verlichting ook deze taak kan vervullen. Indien namelijk het personeel in rijen is opgesteld, bijvoorbeeld aan een lopende band in een montage-werkplaats of aan tafels in een confectieatelier, dan is het mogelijk de plaatselijke verlichting uit te voeren als een enkele, langgerekte lichtbron boven iedere band of tafel. De armaturen worden op meer dan twee meter boven de vloer aangebracht, dit terwille van de overzichtelijkheid van de ruimte. Deze wijze van installeren komt dus neer op het concentreren van de algemene verlichting op die gedeelten van het werkvlak waar de behoefte aan verlichting het grootst is. Zodoende ontstaat een overgangsvorm tussen plaatselijke en algemene verlichting, die, indien ook enig licht omhoog wordt gericht, en mits er geen gedeelten van het

werkvlak tussen de tafels onverlicht blijven, een afzonderlijke algemene verlichting soms overbodig maakt (fig. 144). Dergelijke oplossingen zijn vooral aan te bevelen voor zeer fijn werk, waarvoor, behalve een hoge verlichtingssterkte, ook een aan het werkstuk aangepaste omgevingshelderheid nodig is, zonder de vrij abrupte overgangen die bij een beperkte plaatselijke verlichting niet zijn te vermijden. De fluorescerende buislamp leent zich bij uitstek goed voor dit soort installaties.

Wij wezen reeds op de wenselijkheid de gehele ruimte, het plafond inbegrepen, te verlichten, ter wille van een rustig en ongehinderd functioneren van het gezichtsorgaan van de arbeider, en tevens ter verkrijging van een prettige sfeer in het lokaal. Deze psychologische facet van de verlichtingstechniek vraagt bijzondere aandacht in geval een arbeidsruimte geheel of grotendeels is verstoken van daglicht, zodat het daar verblijvende personeel gedurende lange perioden bij kunstlicht werkt. Het beklemmende gevoel te zijn afgesloten van de buitenwereld, wordt geheel of grotendeels opgeheven, indien de kunstverlichting helderheden oplevert die vergelijkbaar zijn met die welke men in een behoorlijk door daglicht verlichte ruimte aantreft. Gewoonlijk zijn, ter bereiking van dit doel, hogere verlichtingssterkten nodig dan, van beperkt technisch standpunt gezien, voor de uit te voeren taak nodig zijn. De taak is dan niet meer het criterium waarvan de verlichtingssterkte in de eerste plaats afhangt.

De ervaring leert, dat een verlichtingssterkte van zeker 500 lux nodig is om de gevoelsreacties op het gemis aan daglicht te voorkomen. Een zorgvuldig uitgebalanceerd schema van helderheden en kleuren is in deze een waardevol hulpmiddel. Het is wel duidelijk dat de kosten van een zo sterke verlichting dikwijls de uitvoering ervan in de weg staan, vooral indien de uit te voeren taak eenvoudig is en dus bij betrekkelijk lage verlichtingssterkten kan worden uitgevoerd. Er is evenwel aan de andere zijde van het gemiddelde ook een grens, die men, indien enigszins mogelijk, niet moet overschrijden. Er zijn tal van arbeidstaken die zo grof zijn, dat zij gemakkelijk bij een verlichtingssterkte van enkele tientallen lux zouden kunnen worden uitgevoerd. Doch een verblijf van enige duur in een lokaal met een zo zwakke verlichting werkt deprimerend. Een verlichtingssterkte van 50 tot 100 lux is zeker nodig ter voorkoming van een onbehaaglijke sfeer in de ruimte. Bij gebruik van fluorescerende buislampen met witte lichtkleur ligt deze grens bij ongeveer 100 lux, vooropgesteld dat de wanden en het plafond van het lokaal niet donker gekleurd zijn en behoorlijk worden verlicht.

Uit het zojuist behandelde volgt wel, dat voor de fluorescerende buislamp wensen kunnen worden vervuld, waaraan, niet lang geleden, als zij wer-

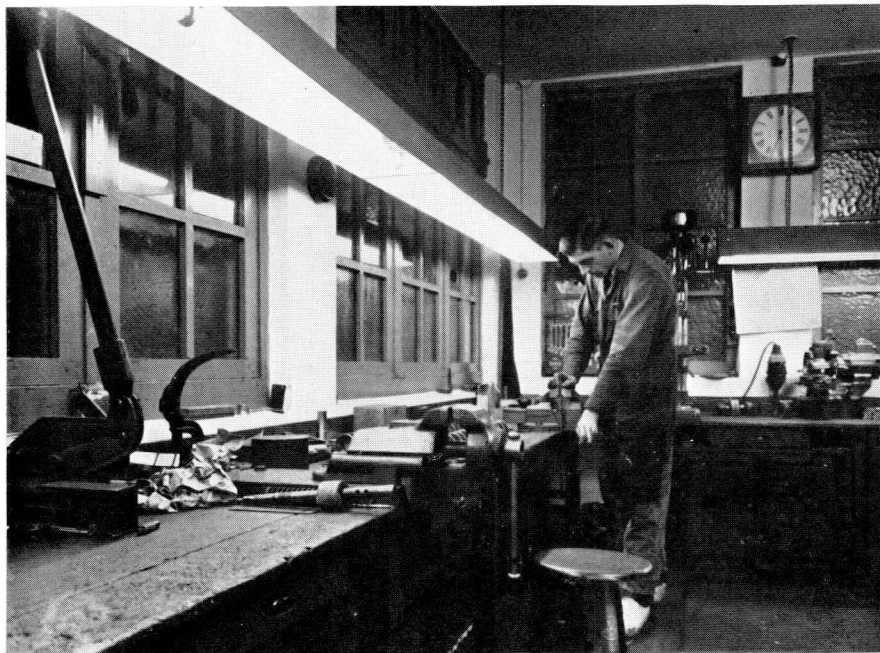


Fig. 145

Indien men voor nauwkeurig werk zeer hoge verlichtingssterkten nodig heeft, bijv. tussen de 500 en 1000 lux, zal het veelal de voorkeur verdienen gebruik te maken van plaatselijke verlichting, liefst gecombineerd met een zwakke algemene verlichting. Het voordeel van fluorescentie-buislampen is dan dat, hoewel de lichtbron vlak bij de arbeider is opgehangen, geen hinder wordt veroorzaakt door warmte-uitstraling.

den geuit, toch niet kon worden tegemoetgekomen om redenen van techniek en economie.

De grote lichtopbrengst van de fluorescerende buislamp veroorlooft het toepassen van hoge verlichtingssterkten. De lichtkleur wordt bij sterke verlichting geen storende factor; integendeel, naarmate de verlichtingssterkte toeneemt, wordt de verlichting natuurlijker. Dit is van bijzonder belang in geval kunstlicht tezamen met daglicht moet worden gebruikt, een toestand die vooral in de winter herhaaldelijk voorkomt, en, in diepe lokalen met vensters in een wand, zelfs gedurende het gehele jaar.

De dagverlichting en de kunstverlichting zullen in het algemeen verscheiden hoofdrichtingen vertonen. Er ontstaan aldus twee systemen van schaduwen en slagschaduwen, die slechts gedeeltelijk zullen samenvallen en waarvan de niet samenvallende gedeelten zullen worden verlicht door de lichtsoort van het systeem dat voor deze gedeelten niet verantwoordelijk is. Is er nu een duidelijk verschil in lichtkleur tussen beide systemen, dan zullen ook de tot slechts één van de systemen behorende

schaduwgedeelten verschillend gekleurd worden gezien. Dit verschijnsel kan buitengewoon hinderlijk zijn, wat al blijkt uit de benaming „vals licht”. Bij een verlichting met fluorescerende buislampen is het kleurverschil zo gering, dat hinderlijk effect volkomen achterwege blijft. Bovendien is de kunstverlichting al bijna even diffuus als de dagverlichting, zodat geen scherp omlijnde slagschaduwen worden gevormd, die ook in het genoemde opzicht de meeste hinder veroorzaken.

De mogelijkheid bestaat nu, de overgang van daglicht op kunstlicht vrijwel onopgemerkt te doen plaats hebben, wat vooral in de namiddag een factor die een domper zet op de werklust, uitschakelt.

Al bezit de nieuwe lamp uitmuntende, tevoren ongekende eigenschappen, daarom kan zij nog niet critiekloos overal worden gebruikt. Integendeel, de verfijning van de verlichtingstechniek, die zich als gevolg van haar verschijnen voltrekt, maakt, dat meer dan tevoren met overleg te werk moet worden gegaan. Voor fijn werk zijn de voordelen van de fluorescentielamp zo groot, dat het steeds de moeite loont een oplossing te zoeken voor de beste rangschikking en bevestiging der talrijke grote armaturen. De indeling en de constructie van het plafond corresponderen niet steeds met de afmetingen der reflectoren of met de afstanden tussen de rijen reflectoren die voor een goed resultaat gewenst zijn. Voor het bereiken van een goed resultaat geldt de vuistregel, dat de afstanden tussen de rijen reflectoren ongeveer gelijk moeten zijn aan de ophanghoogte van de lampen boven het werkvlak. In verband hiermede kan het noodzakelijk blijken in een zaal met shedplafonds, profielstalen balken aan te brengen, loodrecht op of halverwege de sheds, aan welke profielen dan de reflectoren worden gemonteerd.

Van de industrieën die een dankbaar gebruik maken van de nieuwe mogelijkheden noemen wij de textielindustrie (weverijen, spinnerijen, kousenfabrieken, confectie-ateliers), de grafische industrie (hand- en machinezetterijen, kleurendruk en -contrôle), de fijnere metaalindustrie (instrumentmakerijen, montagewerk, uurwerkfabrieken), de electro-industrie (instrumentmakerijen, montage van radio-apparaten, motoren en zwakstroomapparaten), de sigaren- en sigarettenindustrieën, laboratoria en vele andere.

Alle installaties met fluorescentie-buislampen vragen een voortdurende aandacht voor hun onderhoud. De buislampen liggen meestal horizontaal en hebben een groot oppervlak, waarop zich vuil en stof kan afzetten. De lampen leven minstens 2500 uur; in vele gevallen zal dus een installatie lange tijd kunnen branden, soms enige jaren, voordat de buizen moeten worden verwisseld. Tabel I geeft een indruk van de mogelijke depreciatie van fluorescentie-installaties, d.w.z. van de achteruitgang in

TABEL I

Te verwachten gemiddelde vermindering der verlichtingssterkte

Onderhouds- perioden	Lokaal met weinig stof	Lokaal met normale stofafzetting	Normale fabriekslokalen	Stoffige ruimten
3 maanden	20%	25%	30%	40%
6 maanden	30%	35%	45%	60%
12 maanden	40%	45%	60%	60%

verlichtingssterkte die kan optreden door vervuiling, zowel van reflectoren als van wanden en plafonds, en door zich op de lampen verzamelend vuil. Een regelmatig onderhoud volgens een vast schema is dan ook een gebiedende eis; daarenboven moet, vallend buiten de berekening van de installatie, worden ingecalculeerd een achteruitgang in lichthoeveelheid van 20 - 40% van die welke de nieuwe installatie zou opleveren. De installatie moet voor het onderhoud goed bereikbaar zijn, en de lampen moeten op eenvoudige wijze kunnen worden gemonteerd en gedemonteerd. Men denke over deze werkzaamheden niet te licht en stelle zich voor hoe een monteur, op een ladder tussen machines in, op 3 à 4 m van de grond, met beide handen de 1,25 lange buizen moet hanteren.

§ 3. KANTOOR- EN SCHOOLVERLICHTING

De in de inleiding van dit hoofdstuk genoemde algemene eisen waaraan het beeld in het gezichtsveld zal moeten voldoen, gelden voor deze werkruimten zo mogelijk nog sterker dan in de industrie, terwijl daar nog bijkomen zekere factoren van welstand, van aanzien en van esthetiek, die niet mogen worden verwaarloosd. In ideale gevallen zal dan ook de installatie voor deze ruimten in samenwerking met de architect of de binnenhuisdecorateur moeten worden ontworpen, terwijl aan het aspect zowel overdag als bij het branden van het kunstlicht, alle aandacht zal moeten worden besteed.

In kleinere kantoren en bureau's, bijv. tot 6×6 m, bij een hoogte van 3 à 4 m, is de afscherming van de fluorescentielampen dikwijls niet belangrijk, omdat de lichtornamenten buiten het normale blikveld liggen. Hier lette men dus in de eerste plaats op een goede verdeling van de ornamenten aan het plafond, zodat het licht in voldoende hoeveelheid en in de juiste richting valt op de plaatsen waar gewerkt wordt. Wij onderscheiden dan drie hoofdtypen van ornamenten: die, welke aan ophang-



Fig. 146

In het kleine kantoor liggen de lichtornamenten meestal buiten het normale blikveld, en is dus een sterke afscherming minder nodig dan in ruimten waar de lichtornamenten van grote afstand kunnen worden gezien.

buizen op enige afstand van het plafond hangen; plafonniers waarbij de buizen met de montagebalken direct aan het plafond zijn bevestigd, en ten slotte de in het plafond ingebouwde troggen, waarbij geen enkel onderdeel van de verlichtingsinstallatie onder het plafond uithangt.

In kleine kantoren zal zelden aanleiding bestaan tot het in rijen aaneenschakelen van deze lichtornamenten; zij zullen dus in vele gevallen individueel worden gemonteerd (fig. 146). Het hangende ornament heeft het voordeel, dat over een vrij groot gedeelte van het plafond min of meer gelijkmatig licht naar boven toe kan worden verspreid, waardoor grote contrasten tussen een donker plafond en de min of meer heldere ornamenten kunnen worden vermeden. Dit is in mindere mate het geval met de plafonniers, maar ook bij deze kan toch een heldere omgeving om de ornamenten heen worden bereikt.

Bij gebruik van ingebouwde lichttroggen wordt het licht uitsluitend omlaag gericht (fig. 147). In dat geval is het zaak, de vloer en de meubels zo licht mogelijk van kleur te kiezen, opdat door het teruggekaatste licht het plafond worde verlicht. Deze verlichting behoeft niet sterk te zijn;

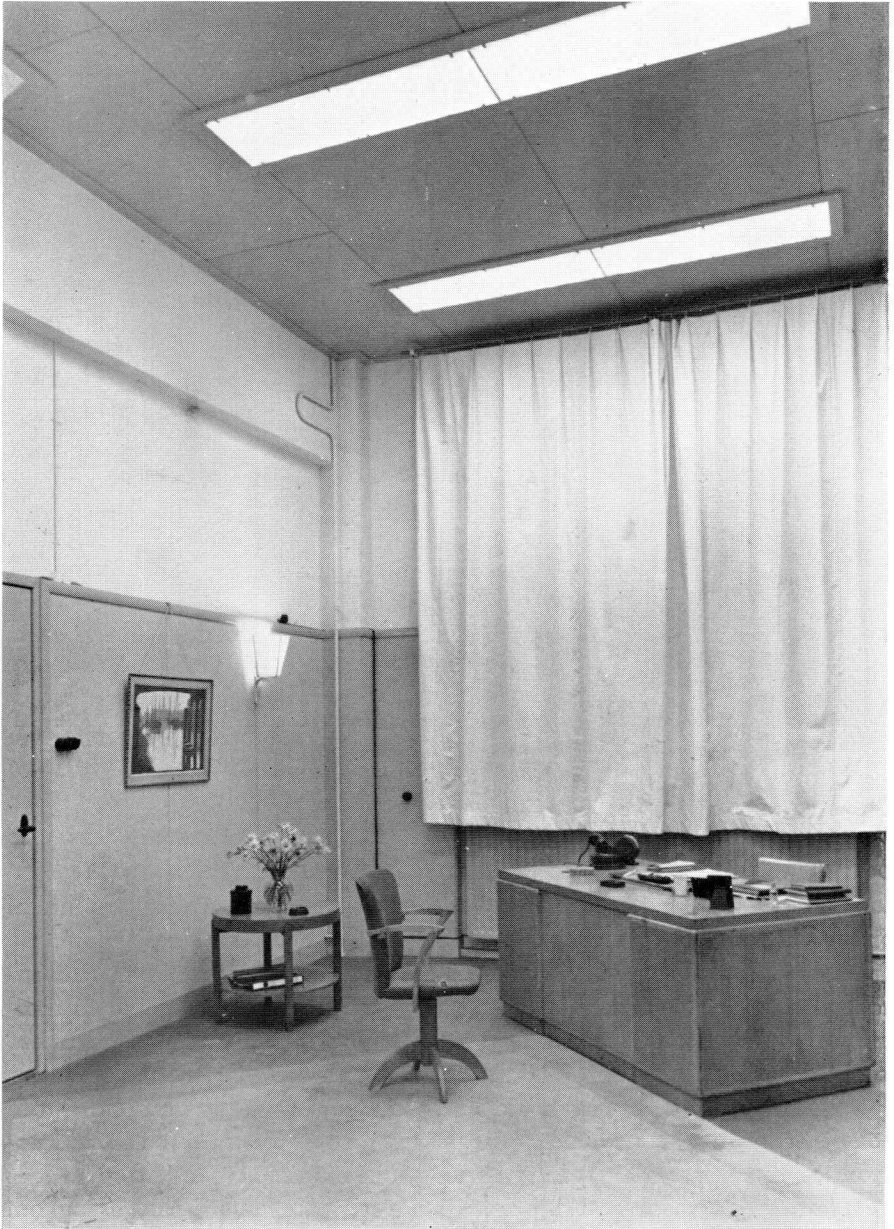


Fig. 147

Vooral in plafonds die met geluidabsorberende platen zijn bekleed, vindt men dikwijls gelegenheid de lichtornamenten in te bouwen. Evenals in het vorige geval voor kleine kantoren, is hier een sterke afscherming onnodig. — Wel is het gewenst, daar het plafond geen direct licht ontvangt, de lichtterugkaatsing omhoog zoveel mogelijk op te voeren door het gebruik van lichte kleuren voor vloerbedekking, meubels en lambrizering.



Fig. 148

In lange kantoren liggen de lichtornamenten geheel in het gezichtsveld. Deze moeten dan zo geconstrueerd zijn, dat de fluorescentie-buislampen geheel zijn afgeschermd, en dat grote lichtcontrasten tussen het plafond, de ornamenten en de louvres zijn vermeden. In zulke gevallen zijn plafonniers te prefereren omdat de hoogte-indruk van de ruimte er het minst door wordt geschaad en het geheel rustiger is dan met armaturen die aan buizen zijn opgehangen.

40 à 50 lux is voldoende om het drukkende gevoel van een geheel donker plafond op te heffen. Wij willen hier wijzen op de relatief grote absorptie door de wanden in een klein kantoor ten opzichte van die in een groot kantoor. Indien men dus in beide hetzelfde systeem toepast, kan men in het kleine kantoor een derde, of soms wel de helft minder licht op het werkvlak verwachten.

Voor grotere kantoren zouden wij een onderscheid willen maken tussen installaties die alleen bij het vallen van de avond worden gebruikt, dus in lokalen waar overdag voldoende daglicht heerst, en installaties voor kantoren waarin, door een grote diepte of door hoge belendende gebouwen, een groot gedeelte van de dag kunstlicht als bijverlichting nodig zal zijn. Avondverlichting in kantoren brandt in normale gevallen op onze hemelbreedte ongeveer 600 uren per jaar, en de weinige uren dat men dus per dag kunstlicht gebruikt vragen een eenvoudige installatie. Gloeilampen, die in de meeste gevallen worden gebruikt in diffusoren,



Fig. 149

Hoewel afscherming in de dwarsrichting gemakkelijk is, zal toch in sommige gevallen montage in de lengterichting van de ruimte de voorkeur verdienen, omdat hierdoor de gehele installatie rustiger en overzichtelijker, en soms ook de montage eenvoudiger wordt.

leveren bij een normale installatie 120 à 150 lux. Vanzelfsprekend geeft de hogere efficiëncy van de fluorescentie-buislampen aanleiding het verlichtingsniveau hoger te nemen; wij zouden voor avondverlichting in kantoren een niveau van 250 à 350 lux willen aanbevelen. Voor grote kantoren betekent dit, zeer benaderend, 1 TL 40 op iedere 2 m². Ten einde een rustige sfeer in deze grote ruimten te bereiken, en om ook, vooral overdag, het uitzicht niet te belemmeren, is montage in plafonniers hier het meest aangewezen, terwijl het rangschikken van deze plafonniers in doorgaande rijen aanbevelenswaardig is (fig. 148). Deze rijen nu kunnen evenwijdig aan de raamwand lopen, of wel er loodrecht op staan.

In beide gevallen moet worden gezorgd voor een goede afscherming in de normale kijkrichting. Het arrangement met de buizen evenwijdig aan de ramen is iets rustiger, maar heeft het nadeel dat de installatie moet worden gewijzigd indien men door verplaatsbare wanden afscheidingen in het kantoor wil kunnen aanbrengen (fig. 149). In dit geval ziet men dan ook meestal de armaturen loodrecht op de ramen gemonteerd. Meer en meer komt men tot de overtuiging, ook in ons land, dat grote kantoorlokalen, waar veel mensen tezamen werken, alleen bruikbaar zijn indien

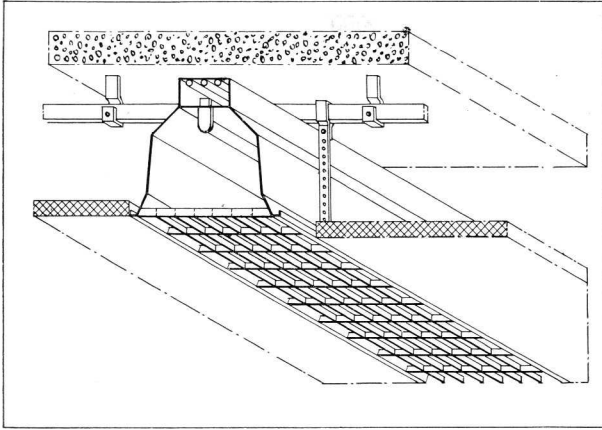


Fig. 150

Een Amerikaanse constructie. Lichttroggen met montagebalken en lichtrooster worden opgehangen aan onder het betonnen plafond bevestigde metalen draagijzers. Geluidabsorberende platen liggen daartussen op de randen van de metalen troggen en vormen zo een vlak plafond. Daarboven vindt men ruimte voor luchtkanalen en sprinklersystemen.



Fig. 151

Men kan de doelmatigheid van zeer diepe kantoren enorm opvoeren door zich onafhankelijk te maken van het daglicht. Hier werken employé's op 11 m afstand van de ramen onder even gunstige omstandigheden als hun collega's die dicht bij de vensters zitten. Vanzelfsprekend zijn hiervoor hoge verlichtingssterkten nodig. In het getoonde geval geeft deze aanvullende dagverlichting tussen de 400 en 500 lux op het werkvlak.

behoorlijk aandacht wordt besteed aan de acoustische eigenschappen van het lokaal, en dat, in de eerste plaats door het aanbrengen van geluid-dempend en absorberend materiaal, de nodige rust ontstaat. De aangewezen plaats voor het aanbrengen van dit materiaal is het plafond, dat daarom dikwijls met acoustische tegels wordt bekleed. Het spreekt vanzelf, dat de kleur van deze tegels invloed heeft op de lichtverdeling in de ruimte, en vooral ook op de indruk die de gebruiker krijgt. De moeilijkheid is, dat deze tegels dikwijls niet wit zijn en dat men, door ze te schilderen, hun absorberend vermogen sterk vermindert.

In Amerika, waar vele grote kantoorlokalen zijn, past men vaak een geheel ingebouwd verlichtingssysteem toe. Dit bestaat dan uit metalen troggen, die aan het plafond worden bevestigd en waartussen een geluid-absorberend plafond wordt opgehangen, zodat een geheel nieuw plafond ontstaat. De ruimte tussen de troggen wordt dan tevens benut voor de kanalen voor luchtbehandeling en voor de daar overal verplicht zijnde „sprinkler” installaties (fig. 150). Dergelijke plafonds zijn kostbaar en worden in Europa zelden toegepast.

Men kan zeggen dat in Europa nog steeds ieder kantoorlokaal wordt gebouwd met een diepte die verband houdt met het daglicht, en dat dus lokalen van meer dan 6 of 7 m diepte zelden voorkomen. Maar ook dan zijn, in gebouwen van 4 of 5 verdiepingen en een straatbreedte van 15 - 25 m, de onderste drie verdiepingen in de meeste gevallen toch te donker en moet aanvullend kunstlicht reeds bij de constructie door de architect worden gepland. — Anders zou een belangrijk deel van het bouwvolume nutteloos en ongebruikt blijven. — Men kan echter, nu de fluorescentie-buislampen de verlichtingsmogelijkheid zo hebben uitgebreid, zonder bezwaar veel grotere diepten voor kantoorlokalen toelaten, en er zijn inderdaad in ons land reeds kantoren van 11 à 12 m diepte die met behulp van aanvullend kunstlicht uitstekend voldoen (fig. 151). Het is duidelijk, dat op deze wijze het rendement van het beschikbare vloeroppervlak zeer sterk kan worden verhoogd. In zulke diepe kantoren, waar men liefst geheel vrij zal zijn om de employé's op te stellen waar men wil, kan men nu het werkvlak in twee of drie stroken indelen. Ten eerste een strook van 4 à 5 m breed langs de ramen, die overdag voldoende licht ontvangt, en dan een of twee stroken, ieder weer 4 à 5 m breed, die gedurende een deel van de dag of gedurende de gehele werktijd aanvullend kunstlicht krijgen. Voor deze gevallen moet men zich op het standpunt stellen, dat degenen die het verst van de ramen verwijderd zitten, even goede werkomstandigheden moeten hebben als zij die dicht bij de ramen zitten, en dat tevens dezelfde stemming en indruk in het gehele lokaal dienen te heersen. Hiertoe is het zaak, dat de kleur van het kunst-



Fig. 152

Verlichting van een normaal schoollokaal van ca. 6×7 m in een dagschool, waar dus de verlichtingsinstallatie zelden voor zeer lange tijd brandt. Men kan in dergelijke scholen volstaan met de normale 6 lichtpunten, en een goede installatie verkrijgen door de gebruikelijke glasdiffusoren met een gloeilamp van 200 watt te vervangen door eenvoudige armaturen met telkens 2 TL 40, afgeschermd door gematteerde glasstroken. Men verkrijgt dan 2 à 3 maal zoveel licht als met de gloeilampen in diffusoren, terwijl het totale stroomverbruik minder wordt.

licht goed overeenstemt met die van het daglicht. De witte TL-lampen zijn hiervoor uitermate geschikt; ook de hoeveelheid licht op het werkvlak moet vergelijkbaar zijn met die op de bureau's dicht bij de ramen. Men kan dus niet volstaan met de hierboven genoemde 250 à 350 lux, maar men moet ongeveer 500 lux installeren, d.w.z. ongeveer 1 TL 40 per m^2 vloeroppervlak.

Het zal duidelijk zijn, dat hier de grote voordelen van de fluorescentie-buislampen naar voren komen. Ten eerste door de kleur van het licht, die veel beter dan die van gloeilampenlicht overeenkomt met het daglicht. Ten tweede door het lage stroomverbruik, dat dergelijke installaties economisch verantwoord maakt, waarbij nog komt dat de buislampen zo weinig warmte produceren, dat deze voor de gebruiker niet hinderlijk is.

Voor al deze gevallen zal men zeer goed afgeschermd armaturen moeten kiezen, die in de rijen worden gemonteerd tegen het plafond, of wel op korte afstand ervan afhankelijk, terwijl de schakeling zo moet zijn, dat

de verschillende zones afzonderlijk kunnen worden gebruikt naarmate dit nodig is. Men kan zelfs een automatische schakeling installeren, waarbij met behulp van een foto-electrische cel de zones worden ingeschakeld waarin het lichtniveau onder een vastgesteld minimum zakt.

Voor schoollokalen gelden in het algemeen dergelijke regels als voor kantoren. Ook hier moet men een onderscheid maken tussen scholen met goede dagverlichting, die dus slechts enkele uren bij kunstlicht worden gebruikt, en inrichtingen waarin avondscholen worden gehouden en waarin dus de leerlingen uren lang bij kunstlicht moeten werken.

In scholen, meer nog dan in kantoorlokalen, is de kijkrichting geheel vastgelegd en kan men dus bepaalde installaties maken, waarbij deze kijkrichting benut wordt doordat de buislampen speciaal in deze richting zorgvuldig zijn afgeschermd (fig. 152).

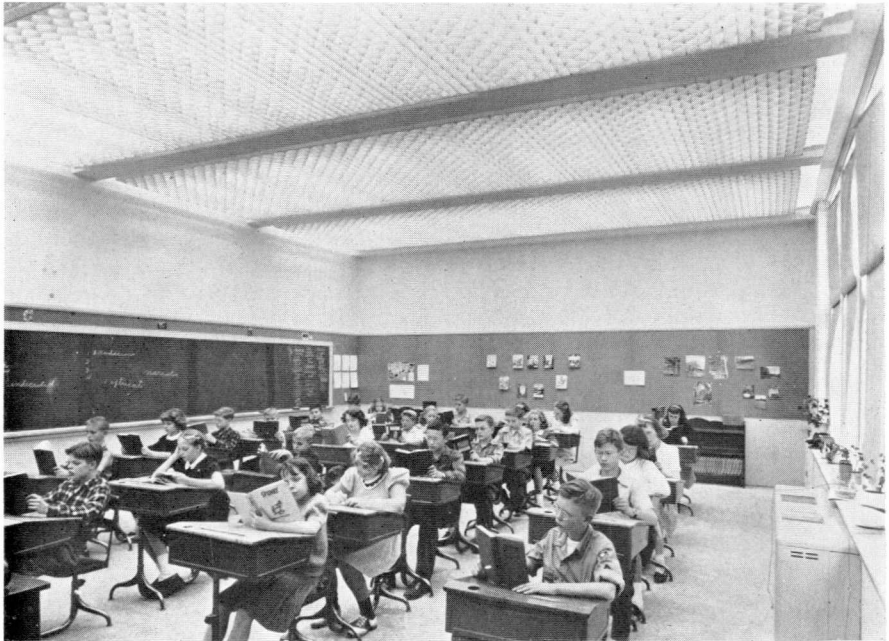


Fig. 153

Scholen die overdag onvoldoende daglicht ontvangen of die tevens als avondschool gedurende lange tijd bij kunstlicht moeten worden gebruikt, hebben een grote verlichtingsinstallatie nodig ten einde de leerlingen goede werkcondities te geven. In zulke gevallen zijn kostbare installaties, als het hier getoonde „louvre-all” plafond, verantwoord. Maar het is dan tevens nodig dat, bij het kiezen van kleur en materiaal voor wanden, vloeren en meubels, de helderheidsverhoudingen zorgvuldig worden afgewogen. Voor dergelijke scholen moet men rekenen op verlichtingssterkten van 400 à 600 lux, terwijl spiegeling zoveel mogelijk moet worden vermeden.

In schoollokalen, die meestal 7×7 m groot zijn en alleen overdag worden gebruikt, is een eenvoudige installatie, die reeds een belangrijke verbetering ten opzichte van gloeilampen brengt, uit te voeren met 6 of 9 armaturen, ieder voorzien van 2 TL 40. De leidingaanleg, zoals die normaal voor gloeilampen wordt gemaakt, behoeft dan niet of nauwelijks te worden gewijzigd.

Voor scholen waarin avondlessen worden gegeven of die overdag wegens hun ligging onvoldoende daglicht ontvangen, moeten veel grotere installaties worden gemaakt, en ook hier is een verlichtingssterkte van 500 lux gewenst (fig. 153).

Wij zouden hier nog eens de nadruk willen leggen op wat wij in de inleiding van dit hoofdstuk hebben gezegd, namelijk dat het beeld dat zich aan het oog van de leerling voordoet, door een nauwkeurige studie en met veel overleg moet worden samengesteld door de architect in samenwerking met de verlichtingstechnicus. Het is van het grootste belang, dat de leerling zich kan concentreren op de voorwerpen of personen die voor hem gedurende de les het middelpunt van zijn aandacht moeten zijn. Men moet dus ook trachten de helderheden en de kleuren zo te verdelen, dat deze aandacht ook op de juiste wijze wordt geconcentreerd. Het is dus beslist ongewenst, het plafond of de armaturen helder te maken. Ook de wanden zouden wij in een rustige en koele kleur willen zien, terwijl het blad van de lessenaar vrij licht van kleur zou moeten zijn, maar iets warmer van toon, bijv. een lichte leerkleur. Ook de kleur van het schoolbord is belangrijk, en er zijn reeds vele pogingen gedaan om van het hinderlijke zwarte bord af te komen. Men gebruikt dan wel om op te schrijven middelgroen linoleum, of nog lichtkleuriger gematteerd glas. De afscherming van de armaturen moet zó zijn, dat spiegeling in het schrijfpapier of in de leerboeken wordt vermeden. In Amerika zijn enige voorbeelden uitgevoerd van schoollokalen met z.g. „louvre-all” plafonds, waarbij dus onder het gehele plafond een lichtrooster is aangebracht waarboven de buislampen zijn gemonteerd. Afgezien van het feit dat deze installaties zeer kostbaar zijn, leveren zij enige nadelen op, t.w. vrij veel spiegeling in het papier en op de lessenaars, en zeer veel licht op het bovenste deel van de wanden, wat dus op de leerlingen afleidend werkt. Wij geloven, dat deze installaties zouden worden verbeterd, indien de schotjes van de afschermroosters niet verticaal worden geplaatst, doch schuin naar voren, waardoor de spiegeling zou worden opgeheven, en dat het gehele lichtrooster dient te worden omgeven door een gesloten vlak van bijv. 1 m breed langs de wanden, waardoor een overmatige hoeveelheid licht op de bovenrand van de wanden wordt vermeden.

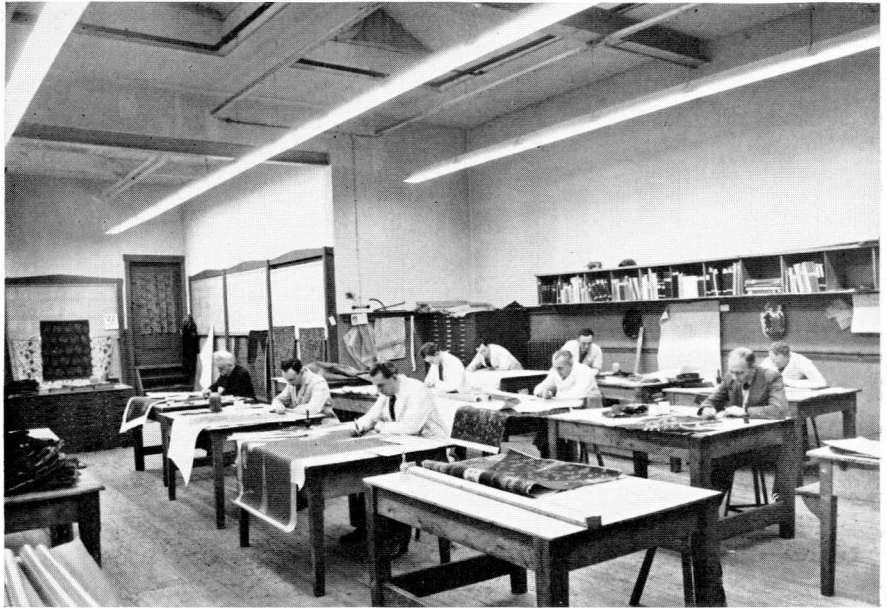


Fig. 154

In tekenzalen is hoge verlichtingssterkte een eerste eis. In het hier gegeven eenvoudige geval met wit geëmailleerde reflector heeft men de lichtlijnen zorgvuldig aangebracht, direct boven de tekenaars, ten einde hinderlijke spiegeling te vermijden. — Fluorescentie-buislampen geven een goede diffuse verlichting, en de kleurweergave is in de meeste gevallen zo goed, dat daglicht gemist kan worden.

§ 4. TEKENZALEN

De steeds voortschrijdende industrialisatie in ons land en over de gehele wereld heeft een geweldige uitbreiding veroorzaakt van het aantal ontwerpers en tekenaars. Meer en meer worden op de tekenzalen de grote en bijna verticale tekenborden gebruikt, voorzien van tekenmachines. Hierdoor wordt het probleem van een goede tekenzaalverlichting moeilijker op te lossen.

De tekenzalen waar horizontale tekenborden worden gebruikt, zijn betrekkelijk eenvoudig te verlichten, omdat het horizontale tekenvlak vergeleken kan worden met het werkvlak in de kantoren, en daar kan dus eenzelfde systeem voor de verlichting worden aangenomen. Het werk is echter fijner dan kantoorwerk; dikwijls wordt met hard potlood op transparant papier getekend, en verlichtingssterkten op het werkvlak van 500 à 1000 lux zijn dus wenselijk (fig. 154).

Dagverlichting is, zowel bij verticale als bij horizontale opstelling van de borden, meestal reeds op 3 m van de ramen onvoldoende. Meer en meer ziet men dan ook tekenzalen ontstaan, waarbij men zich onafhankelijk



Fig. 155

Een betere oplossing dan die van fig. 154 is die waarbij, zoals hier, asymmetrische armaturen zijn gemonteerd, waardoor het licht alleen loodrecht omlaag en schuin naar voren kan vallen. — Hierdoor wordt zowel op verticale als op horizontale teken tafels alle hinderlijke spiegeling vermeden. Een dergelijke installatie maakt de tekenaar onafhankelijk van de afstand tot het raam, zodat een volledige benutting van het gehele oppervlak van de tekenzaal mogelijk is. Al naar de fijnheid van het tekenwerk, zal op de borden 500—1000 lux gewenst zijn.

maakt van het daglicht en dikwijls 3 of 4 tekenschotten naast elkaar opstelt. Hier is het meer dan ergens anders nodig, spiegeling in het papier te vermijden, terwijl de verlichtingssterkte werkelijk gemeten moet worden op het vlak van het tekenbord. Vandaar dat men voor de verlichting van deze objecten verschillende nieuwe methoden heeft bedacht. Men kan hiervoor rijen van armaturen gebruiken, die loodrecht op de raamwand worden gemonteerd en die hun lichtstroom uitzenden in de kijk-richting van de tekenaars, zodat de verticaal staande borden goed worden verlicht (fig. 155). De tekenaar zelf zal geen hinderlijke schaduw op het tekenbord werpen, doordat de lange lichtbron aan beide zijden langs hem heen op het bord schijnt en de lichtstralen die een hinderlijke spiegeling in het papier zouden kunnen veroorzaken, zijn afgeschermd.

Een andere oplossing is die waarbij het plafond in een zaagtandvorm is uitgevoerd. Achter de dwarsbalken, die loodrecht op de raamwand



Fig. 156

In nieuwe gebouwen en modern ingerichte tekenzalen kan men het plafond een zaag-tandvormige doorsnede geven, waardoor de tekenaars, als zij de ogen opslaan, tegen matig heldere vlakken van acoustisch board aankijken. De lichtgevende diffuserende glasvlakken waarachter de TL-lampen zijn opgesteld, zijn geheel aan het oog onttrokken, en ook iedere spiegeling is, evenals in voorbeeld 155, vermeden.

staan, zijn buislampen opgesteld achter een schuinliggend diffuserend vlak van glas. De zijden van de balken waar de tekenaars tegenaan kijken zijn bekleed met eveneens schuinliggende acoustische tegels, die slechts een lage helderheid hebben (fig. 156). Bij horizontaal liggende tekenborden kan het een bezwaar opleveren, dat de buislampen alle evenwijdig liggen aan de tekenlinialen, waardoor deze een schaduw op het papier zouden kunnen werpen. In zulke gevallen worden de lichtornamenten wel onder 45° met de raamwand op of in het plafond aangebracht.

§ 5. WINKELS EN GROTE MAGAZIJNEN

De algemene tendentie naar hogere verlichtingssterkten in verkoopruimten is reeds enige tientallen jaren merkbaar, en ook hier heeft de fluorescentie-buislamp mogelijkheden geopend die, zolang de gloeilampen het enige verlichtingsmiddel waren, ondenkbaar waren. Een nauwe samenwerking tussen de ontwerper van het interieur en de verlichtingsdeskundige is van het grootste belang.



Fig. 157

In grote magazijnen en warenhuizen ligt de kijkrichting, zowel die van het publiek als die van de verkopers, veel minder vast dan in ruimten waar de arbeid zittend wordt verricht. In grote verkoopruimten moet men het gebruik van niet afgeschermd buizen toelaatbaar achten, terwijl, volgens vele deskundigen, zulk systeem een zekere levendigheid verleent, die voor dergelijke ruimten gewenst is. Toch verdient het aanbeveling om, door een zorgvuldige plaatsing en een goed bestudeerd profiel, aan de lichtinstallatie een verzorgd uiterlijk te geven. Een dergelijke algemene verlichting vraagt in vele gevallen geconcentreerd licht op de koopwaar, ten einde de aandacht van het publiek in de juiste richting te leiden.

Het beeld dat de koper ziet in de winkel is beslissend voor het te kiezen verlichtingssysteem. — Wij merkten reeds op, dat het oog steeds wordt getrokken naar de helderste voorwerpen en vlakken in dat beeld. Het is dus logisch, dat in een verkoopruimte de koopwaar dat helderste voorwerp moet zijn. Het streven van de ontwerpers moet er dus op zijn gericht het licht dáár te brengen waar de koopwaar is uitgesteld. In de moderne verkoopruimten nu treft men twee opvattingen aan. De ene is die waarbij in de eerste plaats aandacht wordt besteed aan een goede ruimtewerking en een lichte omgeving, waardoor een sfeer van welbehagen wordt geschapen, de andere waarbij men de koopwaar min of meer dramatisceert door het overgrote deel van het licht erop te concentreren en de gehele omgeving in het halfduister te laten.

In het eerste geval zal men voor een goede algemene verlichting zorg



Fig. 158

Een algemene verlichting in een warenhuis, die uitsluitend is verkregen door middel van fluorescentiebuislampen, mist wegens de grote diffuusheid de nodige levendigheid, waardoor reliëf en vormgeving van de artikelen verloren gaan. Ten einde een en ander te voorkomen, wordt dikwijls, zoals op deze afbeelding, gericht gloeilampenlicht gebruikt, dat wordt verkregen van lampen achter prismatische lenzen die bundels licht concentreren op de goederen. Deze lampen zijn aangebracht aan beide einden van de in het plafond ingebouwde lichtornamenten.

dragen, en hier is weer de fluorescentie-buislamp een bij uitstek geschikt middel om deze algemene verlichting te bewerkstelligen. De kleur van het licht sluit zich goed aan bij het daglicht, zodat men van buiten komend, een natuurlijke kleurwerking van de voorwerpen ziet. De warmteontwikkeling is klein, en het licht is, dank zij de grote afmetingen van de lichtbron, aangenaam diffuus (fig. 157). Men kan de drie reeds genoemde constructies toepassen, t.w. inbouw in het plafond, montage tegen het plafond, ofwel ophanging van armaturen op enige afstand van het plafond (fig. 158).

In verband met wat gezegd is over het concentreren van de aandacht van het publiek op de koopwaar, is goede afscherming gewenst, omdat anders de helderheid van de lichtbron een groot gedeelte van de aandacht van de koper zou opeisen. Toch is deze afscherming minder belangrijk dan in kantoren of scholen, omdat men meestal niet lang achter elkaar



Fig. 159

Plaatselijke, sterke verlichting in vitrines en wandkasten concentreert de aandacht van het publiek op de koopwaar. Buislampen zijn hiervoor zeer geschikt, geven weinig warmte, maar moeten dicht bij de voorwerpen worden opgesteld.

in deze ruimten verblijft en dus bij het zien weinig hinder van overgrote contrasten of verblinding ondervindt. Het zal duidelijk zijn dat, willen wij aan de genoemde eisen voldoen, deze algemene verlichting nooit op zich zelf voldoende zal zijn voor het creëren van een goede verkoopruimte; er moet licht geconcentreerd worden op de koopwaar zelf. Een middel hiervoor is de verlichting van glazen toonbanken, vitrines en wandkasten. Ook nissen en bijv. rekken waaraan kleren zijn opgehangen, en wandplanken, moeten worden verlicht (fig. 159). Deze plaatselijke verlichtingen kunnen meestal zeer goed met fluorescentie-buislampen worden uitgevoerd, en deze bieden ten opzichte van gloeilampen het voordeel, dat er weinig warmte in de vitrines wordt ontwikkeld, warmte die zeer ongewenst is voor vele artikelen, als leerwaren, parfums, eetwaren e.d. Behalve deze plaatselijke verlichtingen, die goed afgeschermd en dicht bij de koopwaar kunnen worden aangebracht, zijn er toch vele gevallen waarin men licht wil concentreren op voorwerpen die niet in dergelijke min of meer afgesloten ruimten zijn opgesteld. Dan moet het fluorescentielicht gese-



Fig. 160. Showroom, Torengarage, Den Haag

Verschillende artikelen hebben, om zo voordelig mogelijk uit te komen, verschillende verlichtingswijzen nodig. De glanzende rondingen van een auto vragen om grote, diffuse lichtbronnen, zodat geen scherpe punt- of lijnvormige glimlichten ontstaan. Deze indirect verlichte koepel doet de vorm van de auto's zeer goed tot zijn recht komen.

deerd worden door gloeilampenlicht, dat door middel van reflectoren, al dan niet in de ballon van de gloeilamp ingebouwd, kan worden geconcentreerd. Dit is met fluorescentielicht praktisch onmogelijk.

In winkels en warenhuizen ziet men dan ook steeds meer de combinatie diffuse verlichting — algemene verlichting verschijnen. Men gebruikt hiervoor buislampen met reflectorlampen, als bijv. de „Attralux” en de „Comptalux”, die, ingebouwd in het plafond, in de armaturen voor de buislampen, of wel in handige, kleine, richtbare armatuurtjes, kunnen worden opgesteld ter plaatse waar dit nodig is.

Het is duidelijk, dat in zaken waar dit systeem zal worden toegepast, dus waar op de koopwaar in hoofdzaak gericht licht zal worden gebruikt, de rol van deze reflectorlampen groter zal zijn, evenals die van de plaatse-lijke fluorescentieverlichting in vitrines en wandkasten, en dat de algemene verlichting bescheidener, soms zelfs geheel afwezig zal zijn. Hiervan zijn zeer frappante voorbeelden aan te wijzen. Zo zullen, ten einde toch vooral de aandacht op de koopwaar te concentreren, het plafond en de

wanden geheel in het donker worden gehouden en zelfs in een donkere kleur worden geschilderd.

Het spreekt vanzelf dat, met inachtneming van wat hierboven werd gezegd, een nauwkeurige studie moet worden gemaakt van de kwaliteit van de verlichting die voor een bepaald artikel nodig is. Zowel de keuze van de kleur van het licht, als de verhouding tussen de hoeveelheid gericht licht en diffuus licht en de grootte van de lichtbron, worden hierdoor grotendeels bepaald. Glimmende voorwerpen, bijv. auto's, vragen diffuse lichtbronnen van tamelijk groot oppervlak, al dan niet gecombineerd met een indirecte verlichting via het plafond (fig. 160).

Boeken en tijdschriften vragen een zo diffuus mogelijke, gelijkmatige verlichting. Stoffen, kleding en bontwaren hebben glanslicht en vormwerking nodig; dus hier speelt gericht licht weer een grotere rol. Bij eetwaren en stoffen is de kleurwerking van het grootste belang. Zo zal dus, om tot het gunstigste resultaat te komen, een keuze moeten worden gedaan uit de verschillende mogelijkheden.

Het is buitengewoon moeilijk, in grote warenhuizen, waar de bestemming van de verschillende verdiepingen dikwijls verandert, een in alle opzichten bevredigende verlichting te ontwerpen. Men maakt daar een ruimer gebruik van algemene verlichting, terwijl de aanleg van een groot aantal stopcontacten vele mogelijkheden tot plaatselijke verlichting van vitrines en speciaal tentoongestelde goederen open laat.

§ 6. ETALAGEVERLICHTING

In Europa is in de laatste tien jaar weinig nieuws op het gebied van etalageverlichting gemaakt. Dit is te wijten aan de oorlog en aan de vele beperkingen in het stroomverbruik die in verscheiden landen waren opgelegd. Op de duur zal een steeds groter percentage van de etalageverlichting worden uitgevoerd met behulp van fluorescentie-buislampen, die een grote hoeveelheid licht geven voor weinig stroom, en waarvan de warmte-ontwikkeling gering is. Het licht van deze buislampen is echter slecht te richten, zodat dus reflectorlampen met een gloeidraad steeds een belangrijke rol zullen blijven spelen.

Een gewichtige reden om in etalages fluorescentielicht te gebruiken is wel te vinden in het streven, de lichtkleur in de etalages gelijk te maken aan die in de winkel, waardoor een eenheid ontstaat en de koopwaar in de etalages dezelfde indruk geeft als binnen (fig. 161).

De indruk die een etalage op grote afstand geeft is van het grootste belang, en de helderheid ervan bepaalt de z.g. „stopping-power”, d.w.z. het vermogen van de etalage om voorbijgangers tot stilstaan en kijken te brengen. Het is duidelijk dat, in een rij van winkelpanden, de helderste etalage



Fig. 161

Voorbeeld van een moderne etalage met een plafond dat geheel bestaat uit lichtroosters, waarboven een groot aantal buislampen is aangebracht. Ten einde het nodige reliëf aan de etalagepoppen en de geëtaaleerde kleren te geven, zijn op regelmatige afstanden reflectorlampen ingebouwd, z.g. „Attralux” lampen, die kunnen worden gericht op ieder gewenst punt van de etalage.



Fig. 161a

Grote hoeveelheden licht met geringe warmte-ontwikkeling in etalages kunnen gemakkelijk worden verkregen met fluorescentie-buislampen. Men zal meer en meer tot het gebruik van fluorescentie-buislampen in etalages overgaan, al was het alleen maar om de goederen in de etalages ten toon te stellen onder hetzelfde licht dat men in de winkel aantreft. Toch is ook hier de grote gelijkmatigheid van dit licht een nadeel, en zal men het dus moeten aanvullen met gericht gloeilampenlicht.

het sterkst zal opvallen. Heel dikwijls zijn de te etaleren goederen minder geschikt voor dramatiseren in de etalage, omdat zij zelf donker zijn; als voorbeeld noemen wij herenkleding. Daarom worden door de ontwerpers van etalages ook veelal lichte achtergronden gebruikt, ten einde de helderheidsindruk van de gehele etalage op te voeren. Voor het gelijkmatig verlichten van de achtergrond zijn de fluorescentie-buislampen zeer bruikbaar. De vraag, welke lichtkleur men daarbij dient te gebruiken, is niet eenvoudig te beantwoorden. Natuurlijk moet vooral de kleurweergave van de koopwaar zo goed mogelijk zijn en moet deze zo voordelig mogelijk uitkomen. Soms kan de aandacht van het publiek sterk worden getrokken door een geheel afwijkende kleur van de verlichting temidden van een rij normaal verlichte etalages. In zulke gevallen kan de daglichtkleur of een warm-witte kleur een goed contrast geven. Zo komt bijv. bont zeer goed tot zijn recht onder daglichtkleur, terwijl een mengsel van daglicht en warm-wit in bloemenwinkels het kleurcontrast tussen de groene bladeren en gele of rode bloemen bijzonder sterk naar voren brengt. Het zou ons echter te ver voeren hier over dit onderwerp uit te weiden.



Fig. 162

Fraaie verlichting van een tennishal (in Zweden). De ramen worden 's avonds met witte gordijnen bedekt; ervoor is een doorlopende reflector van twee rijen buislampen aangebracht, zodat de lichtinval zeer veel gelijk is op die van de dagverlichting. Men lette op de nauwkeurige afscherming dwars op de buizen, die vrijwel alle verblinding onmogelijk maakt.

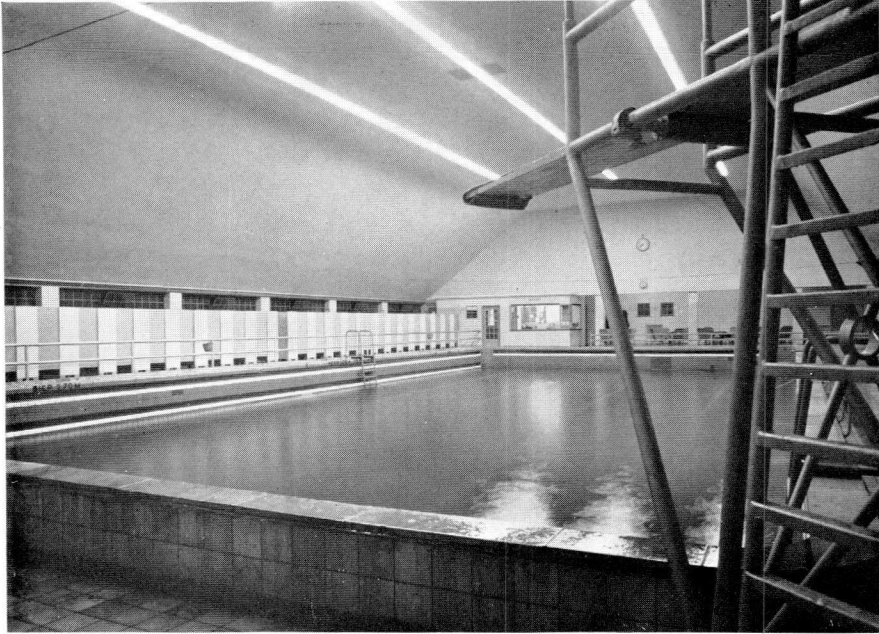


Fig. 163

In overdekte zwembaden geven fluorescentie-buislampen een overvloedig en gelijkmatig licht; daarenboven worden de glimlichten en schitteringen in het water nooit hinderlijk helder.

§ 7. SPORTVERLICHTING

Overal waar snelle sport binnenshuis wordt bedreven, hebben de fluorescentie-buislampen reeds veel toepassing gevonden. De uitstekende spreiding bij lage helderheid van het fluorescentielicht, de hoge lichtopbrengst van het „koude” fluorescentielicht, bij gebruik van veel licht geringe stijging van de temperatuur, en het lage stroomverbruik, dat een redelijke exploitatie mogelijk maakt, zijn alle factoren die tot het veelvuldig gebruik van fluorescentielampen voor sportdoeleinden hebben geleid. In de eerste plaats noemen wij tennishallen, waarin deze lampen op verschillende manieren zijn aan te brengen. Een uitstekende installatie is die, waarbij aan beide zijden van de ruimte in de lengterichting onafgebroken rijen reflectoren zijn aangebracht; in de reflectoren zijn telkens twee of meer TL 40 lampen gemonteerd, die door dwarsschotjes of een systeem van lichtroosters vrij goed zijn afgeschermd. Een dergelijke aanleg geeft een uitstekende, bijna schaduwloze verlichting, en schermt zowel voor de spelers als voor de toeschouwers vrijwel iedere onaangename helderheid van de lichtbronnen af. Het verdient vanzelfsprekend aanbeveling de lampen over drie fazen te verdelen, ten einde het stroboscopisch

effect op de snelbewegende bal tot een minimum te beperken (fig. 162). Een dergelijke verlichting is eveneens uitstekend voor basketball, handbal, turnen enz.

Ook in zwembassins, waar met gloeilampen dikwijls hinderlijke spiegeling in het water ontstaat, is een verlichting met fluorescentie-buislampen zeer bruikbaar, omdat de spiegeling daarbij zeer diffuus en altijd minder helder is dan de helderheid van de buizen zelf, en die is reeds zeer wel te verdragen.

§ 8. CAFE'S EN RESTAURANTS

De voordelen van de fluorescentie-buislampen komen in deze ruimten veel minder tot hun recht dan elders. Meestal worden een vrij lage verlichtingssterkte en een intieme, warme atmosfeer verlangd, en beide zijn op eenvoudige wijze en goed met gloeilampen te verkrijgen. Toch kan de buisvorm van de fluorescentielampen in bepaalde gevallen voordelen bieden, bijvoorbeeld voor het maken van smalle en kleine lichtkoven voor in-



Fig. 164

Een restauratiezaal in het stationsgebouw van het vliegveld Schiphol bij Amsterdam, waarin een ruime en toch stemmige verlichting is verkregen door middel van warmwitte fluorescentie-buislampen in stuc-koven. Voor het orkestpodium kan een dansvloer worden vrijgemaakt. Als er gedanst wordt, schakelt men het witte licht boven de dansvloer uit, en vervangt men het door gekleurd neonlicht.

directe verlichting. Ook maakt men met de TL 20 aantrekkelijke wandornamenten, waarvan er 1 of 2 tegen de muur worden gemonteerd met een afscherming van gedecoreerd glas of perkament (fig. 164). Er zijn echter ook populaire eetgelegenheden, en wel speciaal de cafetaria's, waar veel licht een voordeel betekent. Daar zijn de TL-lampen weer buitengewoon geschikt, omdat ze weinig warmte geven. Cafetaria's, ijs-salons en dergelijke ruimten waar men staande snel iets nuttigt, vragen geen intieme stemming. Men wil hier integendeel gaarne alles goed kunnen waarnemen, en de indruk moet bij het binnenkomen vrolijk en aantrekkelijk zijn.

Ook stationsrestaurants en grote wachtkamers vragen een dergelijke atmosfeer en verlichting. Een verlichtingssterkte van 150 - 250 lux is hier op haar plaats, en armaturen of lichtlijnen langs het plafond, met een afscherming van glas waarin enige decoratie is aangebracht, geven hiervoor goede oplossingen. Wel is het goed, bij het vaststellen van de kleur voor wanden, vloeren en meubels, rekening te houden met de aard van het licht, omdat er bepaalde kleuren zijn die zich uitstekend, en andere die zich minder goed aan een zekere lichtkleur aanpassen. Vooral de koelere kleuren, als blauw, groen en grijs, maar ook geel, zijn in dit opzicht kritisch, terwijl de warme kleuren, als beige, rose, oker en bruin, uitstekend werken.

§ 9. BIOSCOPEN EN THEATERS

Het gebruik van fluorescentie-buislampen in deze gebouwen beperkt zich tot nu toe hoofdzakelijk tot de entré's, de halls en eventueel de foyers. In deze ruimten, die weliswaar niet karakteristiek zijn voor het bioscoop- en theaterbedrijf, vindt men analoge oplossingen als in restaurants en café's. De eigenlijke theaterzalen hebben zelden een fluorescentieverlichting. Hiervoor bestaan verscheiden redenen. In de eerste plaats is het niet eenvoudig, de zaal die ermee verlicht is, langzaam te verduisteren, terwijl dit met gloeilampen zonder meer door middel van weerstanden mogelijk is, en op verminderde spanning brandende gloeilampen een aangenaam roodachtig licht geven. Het licht van installaties met gasontladingsbuizen kan slechts worden gedempt met behulp van een vrij kostbaar electrisch apparaat, waarin van z.g. thyatronbuizen gebruik wordt gemaakt; de kleur van het licht verandert daarbij niet, zodat men een koel, schemerachtig licht krijgt, dat veel minder aangenaam is dan het warme, rode schijnsel van de gloeilampen. De speciale voordelen van de lange levensduur van gasontladingslampen zijn niet erg belangrijk voor deze zalen, waar de verlichting meestal slechts voor korte tijd wordt ontstoken, en dus ook gloeilampen weinig verwisseling en onderhoud vergen.



Fig. 165

Avondverlichting in musea treft men tot nu toe weinig aan. Toch tracht men, vooral in grote steden, de musea toegankelijk te maken voor het publiek dat overdag geen tijd heeft voor zulk bezoek. Fluorescentie-buislampen vinden daarbij steeds meer toepassing, dank zij hun hoge lichtopbrengst en een kleurweergave, die vergelijkbaar is met die van daglicht. Vooral in Amerika worden reeds talrijke musea op die wijze verlicht.

§ 10. MUSEUMVERLICHTING

De kunstverlichting van musea is tot nu toe niet volgens een algemeen geaccepteerde techniek gemaakt. Dit komt in de eerste plaats doordat veruit de meeste van onze musea gebouwd zijn voordat kunstverlichting in musea mogelijk was. Zij zijn dus bijna alle op dagverlichting ingericht; pas de laatste jaren ziet men hier en daar, vooral in grote steden, pogingen om door avondverlichting de musea voor een groot publiek toegankelijk te maken (fig. 165).

Behalve de verlichtingsvraag op zich zelf, komen daarbij vanzelfsprekend nog vele andere problemen, als rentabiliteit, brandgevaar, de aanleg van installaties in grote bestaande gebouwen, de nodige verbouwingen enz. Indien wij deze problemen terzijde laten, blijft de vraag hoe schilderijen, beeldhouwwerk, preciosa en ook grafische kunst, het best kunnen worden verlicht, en welke rol daarbij fluorescentie-buislampen kunnen spelen.

Ook hier bepaalt de lichtverdeling van de fluorescentie-buislampen die rol. Deze lampen zijn in de eerste plaats bruikbaar voor een algemene en diffuse verlichting. Indien men dus in een museum met de bestaande dagverlichting tevreden is, is het bijna altijd mogelijk, door aanbrenging van buislampen boven het diffuserend glas van de plafonds, een avondverlichting te maken die, wat de lichtverdeling betreft, met de daglichtverlichting overeenkomt.

De lichtkleur van zulk een kunstverlichting komt zeer goed overeen met die van daglicht, hoewel een klein tekort aan rode stralen is te bemerken. Een kleine bijmenging van gloeilampenlicht blijkt daarom soms wenselijk.

Het moge echter bekend zijn, dat de traditionele museumverlichting door middel van glazen plafonds allerminst een ideale genoemd kan worden, en dat voor beeldhouwwerk en schilderijen op vele wijzen reeds gezocht is naar meer bevredigende oplossingen. Er zijn zelfs reeds enige raamloze musea gebouwd, o.a. in Amerika, omdat men geheel onafhankelijk wilde zijn van het veranderlijke daglicht, en omdat men meende dat, indien toch eenmaal een kostbare kunstverlichtingsinstallatie moest worden aangelegd, de eveneens kostbare constructie van daglichtramen, daken en plafonds kon worden bespaard. Een goede verlichting van een schilderijenzaal is te verkrijgen door middel van een algemene verlichting met fluorescentie-buislampen van 4200 °K., waarbij 10-20% gericht gloeilampenlicht in de schilderijen de rode tinten extra accentueert, terwijl op de schilderijen 100-200 lux gewenst is.

Ook voor de verlichting van vitrines, waarbij een geschikte afscherming wordt gebruikt, zijn fluorescentie-buislampen zeer op hun plaats, ook alweer dank zij hun goede lichtkleur en geringe warmte-ontwikkeling. Een spe-

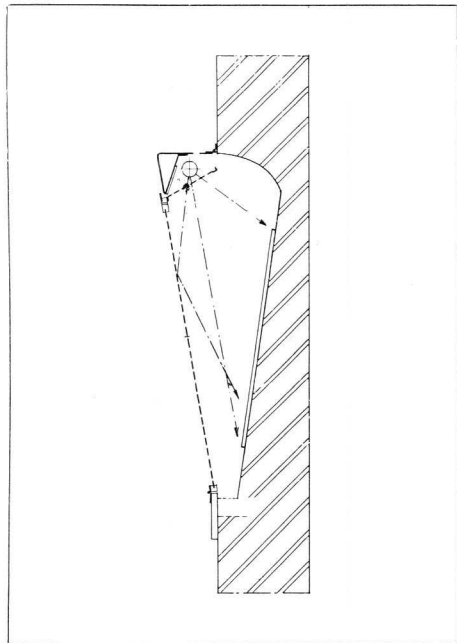


Fig. 166

Constructie van een vitrine in een prentenkabinet, waarbij van de absolute reflectie in het glas partij is getrokken om het gehele oppervlak gelijkmatig te verlichten.

ciale constructie werd onlangs ontworpen voor wandvitrines voor grafische kunst, waarbij, ter verkrijging van een zo gelijkmatig mogelijke verlichting, gebruik werd gemaakt van het verschijnsel, dat licht, op een glazen oppervlak vallend onder hoeken kleiner dan ongeveer 17° met dit oppervlak, vrijwel geheel wordt teruggekaatst (fig. 166).

Voor beeldhouwwerk zijn ons nog weinig toepassingen van fluorescentie-buislampen bekend. Het lijkt echter niet moeilijk dergelijke toepassingen te maken. Voor bas-reliëfs denke men aan de Egyptische reliëfs in het Louvre, die reeds voor de oorlog door middel van buisvormige gloeilampen op schitterende wijze werden verlicht. Ook voor grote beelden zal men, indien een goede dagverlichting aanwezig is, door een analoge lichtinval te maken, hetzelfde effect 's avonds kunnen bereiken. Hiertoe kan men bijv. zeer goed een raam omlijsten met een rand van met matglas afgeschermd buislampen. Een vraag betreffende verlichting van schilderijen en andere voor licht gevoelige voorwerpen door middel van TL-lampen is nog niet geheel afdoende beantwoord, namelijk in hoeverre het door deze lampen uitgestraalde licht dezelfde werking heeft op het expositiemateriaal als het thans gebruikelijke daglicht. Tot nu toe heeft men in de diverse laboratoria slechts zeer weinig verschil kunnen meten, maar toch lijkt het gewenst de bestraling van de kunstvoorwerpen met kunstlicht, evenals zulks met daglicht het geval is, tot het hoogst nodige te beperken. In ieder geval zouden wij aanraden alle direct op de voorwerpen vallende stralen van TL-lampen te filtreren door een minstens 4 mm dikke glasplaat van normaal, helder vensterglas.

§ 11. WOONHUIZEN

In vergelijking met andere bestemmingen, ziet men het gebruik van fluorescentie-buislampen in woonhuizen slechts langzaam doordringen. Dit heeft verschillende oorzaken. De kleur van dit licht is koeler dan die van gloeilampenlicht; eerst in de allerlaatste tijd is men erin geslaagd buislampen te maken waarvan de kleur op bevredigende wijze overeenkomt met die van de oude lichtbron. Toen waren aanvankelijk slechts de 1 m en 1,25 m lange TL-lampen ter beschikking, welke dus voor normale woonruimten grote afmetingen hebben, wat moeilijkheden geeft bij het ontwerpen van een prettige oplossing (fig. 167a). Ook hierin is verbetering gekomen sinds de TL 20 van 60 cm lengte op de markt verscheen. In de eerste plaats vinden wij thans de nieuwe lichtbron in de utiliteitsruimten van de woning. Zij is uitermate geschikt voor de verlichting van gangen, keukens en badkamers. Ook voor indirecte verlichting in woonkamers, eetkamers en slaapkamers verleent deze TL 20 goede diensten (fig. 167).



Fig. 167

Verlichting in woonkamers door middel van fluorescentie-buislampen komt nog zelden voor. Wij verwachten echter spoedig een groter gebruik ervan, vooral nu veel verbetering in de kleur van het licht is aangebracht. Deze afbeelding toont een aantrekkelijke, hoewel vrij kostbare installatie, waarbij de buislampen een half indirecte verlichting ter sterkte van ongeveer 300 lux geven, zodat de bewoners 's avonds met gemak kunnen lezen en handwerken.

In de keuken, vooral als deze niet al te groot is, kunnen de 60 cm TL 20-lampen (fig. 168) zonder afscherming in het midden tegen het plafond worden bevestigd; ook een aparte verlichting met deze lampen boven de aanrecht, de gootsteen en het fornuis geeft veel gemak (fig. 168).

In de entree en in de gang kan men van de TL 20 de gehele avond overvloedig licht hebben, omdat een stroomverbruik van 25 watt een slechts zeer kleine uitgave betekent. Het is logisch, dat men 's avonds in de woonkamer en in het studeervertrek even goede lichtcondities wenst als die welke men op kantoor, in de werkplaats of het atelier overdag heeft. Bij lezen, schrijven, naaien en verstellen behoort men op het werkvlak 200 à 300 lux te hebben. Het blijkt buitengewoon moeilijk, met ongeacht welke lichtbron verlichtingssterkten van die orde in woonhuizen te realiseren en toch een gezellige stemming te bewaren. Men wil nu eenmaal in woonruimten grotere helderheidscontrasten dan in werkruimten, en men is gewend aan donkere hoeken, waar de verlichting



Fig. 167a

Een eenvoudige lampekap met 2 TL 25 geeft een overvloedige en gelijkmatige verlichting boven de tafel. In vele gevallen is echter de grote lengte van de buizen nog een beletsel voor het algemene gebruik van een dergelijke verlichting. De 60 cm lange TL 20 zal hierin zeker verbetering brengen, daar met deze buizen de constructie van kleinere lichtornamenten zeer goed mogelijk is.

beslist onder 20 à 30 lux moet zijn, zodat men, in tegenstelling tot het helder verlichte werkvlak, op die plaatsen nauwelijks details kan onderscheiden. Een werkelijk algemene verlichting is dus amper mogelijk, tenzij men door gebruikmaking van donkere kleuren voor wanden, meubels en vloeren toch de gewenste intimiteit krijgt. Dit vraagt echter een vrijwel opnieuw te ontwikkelen wijze van decoreren en inrichten, welke tot nu toe niet in toepassing is gebracht. Toch heeft het, vooral voor oudere lieden, die met het dragen van een bril tevens meer licht nodig hebben, een grote waarde deze techniek verder te ontwikkelen.

In Amerika, waar men in het algemeen lage verdiepingen heeft, zeer vaak onder 2,50 m, vindt men in woonruimten zelden een algemene verlichting. Ook het middenlichtpunt wordt zelden gebruikt. De zitmeubelen worden veelal langs de wanden gerangschikt, en men vindt een overvloed van studeerlampen en staande lampen, die op het leesvlak of op de handen zeker 200 à 300 lux geven. Dit is echter een techniek die in Nederland niet algemeen wordt geaccepteerd, en wij geloven dan ook, dat er



Fig. 168

Goede verlichting in een keuken door middel van een enkel centraal lichtornament is bijna onmogelijk, omdat men zich hierbij vanzelfsprekend praktisch altijd in het licht staat. Meestal is het nodig kleinere gasontladingslampen aan te brengen boven aanrecht, gootsteen en fornuis; het resultaat van zulk een verlichting is uitstekend.



Fig. 169

Goed voorbeeld van gordijnverlichting in een woonkamer. De buislampen zijn verdekt opgesteld achter een lijst die tevens de gordijnroeden bedekt. Het gordijn heeft een in lichte kleuren gehouden fond, waardoor het licht van de lampen goed wordt teruggekaatst en vrij veel licht in de zitkamer wordt geworpen. Behalve de decoratieve waarde van een dergelijke installatie, geeft deze het voordeel, dat 's avonds een gelijksoortige lichtinval in de ruimte heerst als overdag.

gezocht moet worden naar een oplossing waarbij door middel van een juist geconstrueerd centraal lichtpunt, hoog in de kamer aangebracht, een behoorlijke verlichting wordt verkregen over een groot deel van het vloeroppervlak. Vooral in arbeidershuizen, waar de kamers dikwijls nog geen 4×4 m groot zijn, is het van belang dat het gezin niet steeds gedwongen wordt zich om de in het midden staande tafel te groeperen, omdat dit de enige plaats is waar voldoende licht is te vinden. Men krijgt een veel vrijere opstelling en een veel beter en ruimer gebruik van de woonkamer met een goede algemene verlichting. Met behulp van 2 TL 40, of liever 4 TL 20, die dus gezamenlijk ruim 4000 lumen lichtstroom opbrengen voor een stroomverbruik van ongeveer 100 watt, moet het mogelijk zijn een goede oplossing te vinden voor een kamer van ca. 16 m^2 . Een aardige toepassing die wij hier nog willen noemen is die van de gordijnverlichting door middel van langs de gordijnroe aangebrachte buislampen die naar de kamer toe zijn afgeschermd, en die zowel de plaats bij het raam als het gordijn en een gedeelte van het plafond helder verlichten (fig. 169).

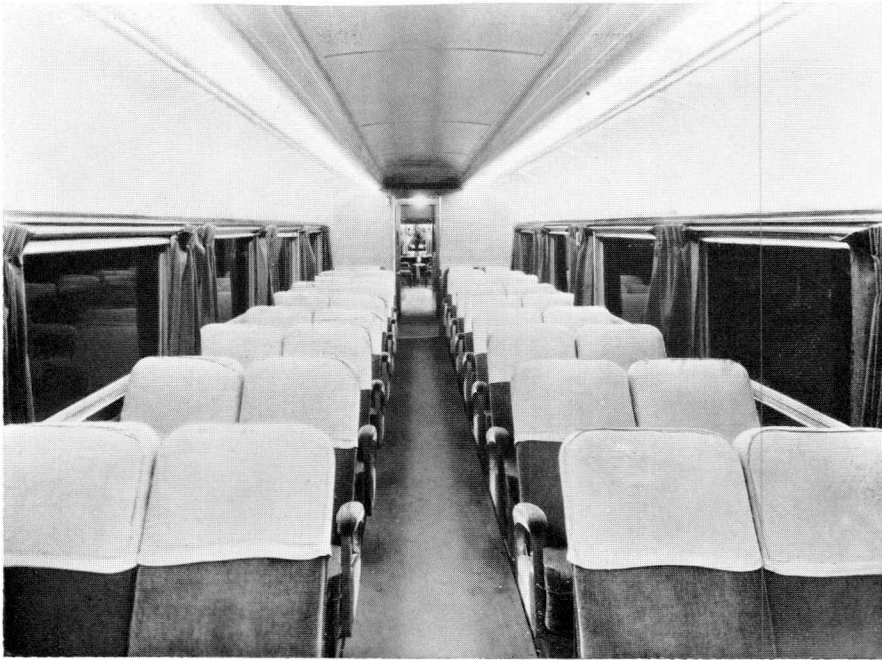


Fig. 170

Meer en meer ziet men in spoorwegcoupé's, en zelfs in autobussen, gebruik maken van fluorescentie-buislampen. Zij geven een veel hoger lichtniveau dan met gloeilampen mogelijk is, zodat men er gemakkelijk bij kan lezen. De stroomlevering voor dergelijke installaties is echter dikwijls moeilijk en kostbaar.

§ 12. VERKEERSVERLICHTING

Men begint langzamerhand tot het inzicht te komen, dat passagiers van schepen, treinen, autobussen enz. alleen dan op een comfortabele wijze kunnen reizen, als ze ook over voldoende verlichting beschikken voor het lezen van kranten, boeken enz. (fig. 170). Met gloeilampen is een dergelijke verlichting kostbaar en moeilijk te realiseren. De trillingen van voertuigen veroorzaken veel breuk in de filamenten van de lampen, en de stroomopwekking voor een voldoende verlichtingssterkte vormt dikwijls een groot probleem. Ook de warmte-ontwikkeling, vooral op schepen die naar de tropen varen, stelt scherpe grenzen aan het gebruik van gloeilampenlicht. Op mailschepen kan men, bijv. in de Rode Zee, in een goed geventileerde hut als verlichting voor de passagiers niet anders dan 15 en 25 watt gloeilampjes gebruiken.

Het probleem van de stroomlevering van fluorescentie-buislampen op voertuigen is ook niet eenvoudig. Het is namelijk bezwaarlijk wisselstroom van 125 of 220 volt op te wekken, omdat de machines daarvoor

duur en zwaar zijn, maar de voordelen van de grotere lichtopbrengst en de ongevoeligheid tegen schokken en trillingen maken dat men toch, zowel bij de spoorwegen als op zeeschepen, en zelfs in autobussen, steeds meer pogingen ziet het nieuwe licht te gebruiken. In bussen en treinen moet men vooral letten op een behoorlijke bescherming van de lampen tegen beschadiging bij het plaatsen van bagage in de rekken. Op schepen is tot nu toe gebleken, dat het niet eenvoudig is de met fluorescentie-buislampen verlichte ruimten te doen harmoniëren met die welke met gloeilampen zijn verlicht. Dit kan namelijk bezwaar opleveren in gevallen als dat waarin een reizigster haar toilet heeft gemaakt in haar met gloeilampen verlichte cabine, en dan in de eetzaal, die met fluorescentie-buislampen is verlicht, bemerkt dat zij door deze verlichting verkeerde kleuren voor haar „make-up” heeft gebruikt. De mogelijke variaties van de lichtkleur zijn echter vele, en wij mogen verwachten dat er spoedig fluorescentie-buislampen op de markt zullen zijn die in lichtkleur geheel overeenkomen met die van gloeilampen. Misschien zal men zich afvragen waarom men zoveel moeite doet de nieuwe lichtbron ook op schepen in te voeren. De hoofdreden daarvoor moet worden gezocht in de ventilatie, die kostbaar is en veel ruimte vraagt voor de luchtkanalen. Het maakt een enorm verschil in de dimensies van een dergelijke luchtbehandelingsinstallatie dat men, bijv. om een gelijke lichthoeveelheid te krijgen, in een eetzaal 20 kW kan gebruiken met TL-lampen in plaats van 60 kW met gloeilampen.

Een spoorwegmaatschappij die alles wil doen om het de reizigers aangenaam te maken, moet het geboden comfort verzorgen van het ogenblik af dat zij het station van vertrek binnentreden, tot zij het station van aankomst verlaten. Daartoe moet de reiziger 's avonds in alle ruimten waarin hij gedurende zijn reis verblijft, goede verlichting aantreffen; dat is dus in de entree, in de hall voor de kaartverkoop, bij de kiosk waar de avondkrant wordt gekocht, bij de contrôle, in de wachtkamers, op het perron en in de coupé. De contrasten tussen de verlichtingssystemen in de verschillende ruimten mogen niet te groot zijn, en overal moet men die verlichting aantreffen die nodig is voor de werkzaamheden in deze speciale ruimten. Bij het ontwerpen zal de architect dus de grootste aandacht moeten besteden aan de verlichting van de trappen naar de halls, aan de verlichting van de borden waarop de vertrektijden der treinen zijn aangegeven, aan die van de loketten waar de kaartjes worden gekocht, en aan die van de contrôleplaatsen en de wachtkamers. De reiziger mag, wanneer hij uit een helder verlichte wachtkamer komt, waar hij een krant heeft gelezen, niet een donker perron vinden, waar hij practisch niets kan zien. De verlichting van het perron moet zodanig zijn, dat geen sterke overgang wordt ge-

vormd tussen de verlichting in de wachtkamer en die in de coupé. Daarvoor is een nauwe samenwerking tussen de verschillende diensten en de decorateur of architect absoluut nodig. Een dergelijke planning van de verlichtingssterkten in de door de gebruiker opeenvolgend doorschreden ruimten is in vele gevallen nodig, niet alleen bij spoorwegverlichting, maar ook op schepen, in restaurants, theaters e.d.

§ 13. STRAATVERLICHTING

Het gebruik van fluorescentie-buislampen voor straatverlichting is merkwaaardigerwijze eerst kort geleden onderzocht, en wel in verscheiden Europese landen tegelijk, en niet in Amerika. Onder andere in Engeland, Spanje, Frankrijk, België, en thans ook in Nederland, zijn min of meer uitgebreide proeven gedaan, met resultaten die zeer interessant zijn en die doen verwachten dat de fluorescentie-buislampen in de toekomst op vrij algemene schaal voor straatverlichting zullen worden gebruikt. Een moeilijkheid is

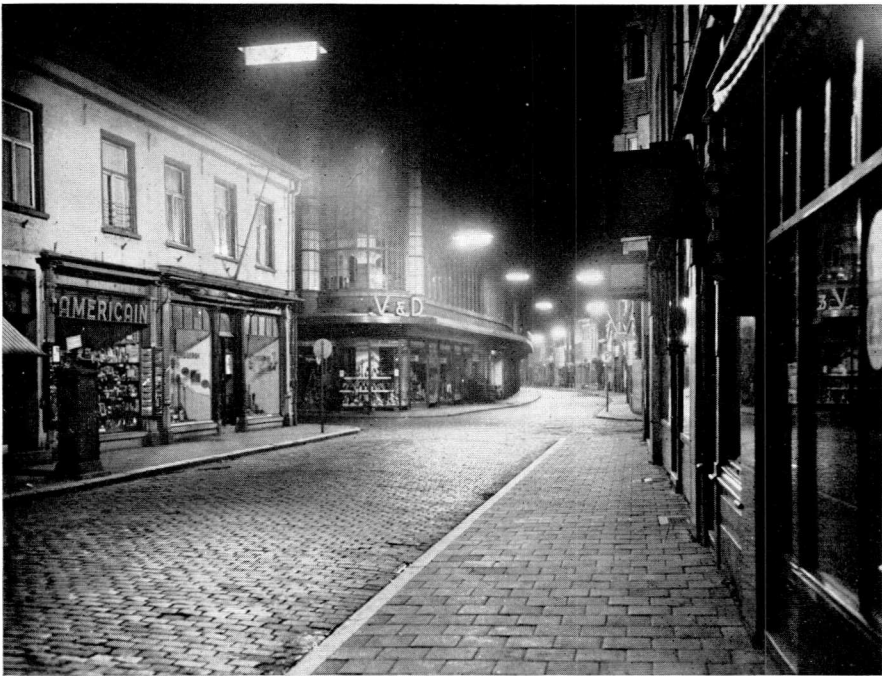


Fig. 171

Het is gebleken, dat voor bepaalde gevallen, vooral voor verlichting van straten in de binnenstad, TL-armaturen zeer goede resultaten geven. Het licht is niet verblindend, geeft een zeer gelijkmatige helderheid op de straat — ook als het straatoppervlak spiegelt — terwijl enige verlichting van de gevels der huizen voor de voetgangers 's avonds een prettige omgeving schept.

natuurlijk in de eerste plaats de grote lengte van de lampen, die zeer grote armaturen vergt, en dus de aanleg kostbaar maakt. In de tweede plaats ontsteken de lampen slecht bij lage temperaturen en geven daarbij ook een slecht lichtrendement. De grote voordelen van de fluorescentie-buislampen zijn ook hier: de lange levensduur, waardoor veel minder uitwisseling nodig is dan bij gloeilampen, de grote lichtopbrengst en de lange lijnvormige lichtbron die zeer diffuus het licht verspreidt, terwijl, indien de lampen loodrecht op de kijkrichting zijn opgesteld, de helderheid van het straatoppervlak zeer gelijkmatig is, doordat ook de spiegeling in gladde straatkeien of glimmend asfalt over een grote breedte plaats heeft; dit in tegenstelling met de hinderlijke streepvormige spiegeling van de gloeilampen.

Ten einde het nadeel van het slechte branden bij lage temperaturen op te heffen, worden in een armatuur verscheiden lampen aangebracht, dikwijls vier of vijf. Indien dan slechts enige van de lampen ontsteken, zal door de warmte die ze met het voorschakelapparaat tezamen ontwikkelen, het armatuur in zijn geheel worden verwarmd, en zullen de lampen gemakkelijker ontsteken en helderder gaan branden. Hiertoe is het nodig, dat de armaturen geheel gesloten zijn met glas of met gebogen perspexplaten. Soms worden verchromde reflectoren gebruikt, die echter vrij breed moeten zijn en dus het armatuur zeer groot maken. Een onlangs uitgevoerde proefverlichting, waarbij vier lampen dicht boven elkaar in een eenvoudig metalen armatuur met twee verticale glazen ruiten zijn gemonteerd, heeft reeds bewezen, dat ook eenvoudiger oplossingen zeer bevredigende resultaten kunnen geven (fig. 171).

Dergelijke verlichtingen komen in de eerste plaats in aanmerking voor stadsstraten met een druk voetgangersverkeer, waar aan een goede kleurwerking en een vrolijk aanzien veel waarde is te hechten. Men zal deze verlichting dan ook vooral gebruiken in de winkelstraten in de binnenstad, en daar waar voor een goede ruimtewerking ook enig licht op de gevels der huizen gewenst is.

§ 14. GEBRUIK VAN TL-VERLICHTING IN LAND- EN TUINBOUW DOOR Dr. R. VAN DER VEEN

Tot kort voor de oorlog werden als plantenbestralers neonlampen gebruikt. Wegens het eenzijdige spectrum van deze lampen, waren zij niet voor alle forceerdoeleinden geschikt. Zo kon men de meeste planten niet normaal doen opgroeien uitsluitend onder neonlicht, doch moest dit licht worden gebruikt als aanvulling op daglicht.

De TL-lampen hebben dit nadeel niet. Voor fysiologisch onderzoek heeft men planten nodig die onder constante voorwaarden zijn opgegroeid,

dus ook onder constant licht. Het zo sterk wisselende daglicht moet hierbij dus worden uitgeschakeld en kan worden vervangen door TL-„daglicht” lampen, waarbij elke gewenste intensiteit tot $\pm 10\,000$ lux kan worden verstrekt. Onder dit licht groeien de planten normaal op; met andere lichtbronnen krijgt men meestal abnormaliteiten. Deze wijze van opkweken van planten, waarbij, behalve de verlichting, ook de vochtigheid, de temperatuur, en soms ook nog de koolzuurspanning regelbaar zijn, is natuurlijk kostbaar en wordt daarom alleen gebruikt op botanische en tuinbouwkundige laboratoria, om fundamenteel onderzoek mogelijk te maken.

Behalve voor deze doeleinden, treft men in de bloemisterij- en tuinbouw-practijk verscheiden toepassingen van het TL-„daglicht” aan. Met deze verlichting kan men, globaal gesproken, drie soorten resultaten bereiken:

1. Versnelling van de groei, waarbij de lichtenergie wordt gebruikt voor de opbouw van de plant. Hiervoor is de intensiteit natuurlijk van groot belang.
2. Het al of niet gaan bloeien van de plant, waarbij het licht wordt gebruikt als richtinggevende factor. Hier speelt de dagelijkse duur van de belichting de grootste rol, terwijl gewoonlijk lage intensiteiten voldoende zijn.
3. Een vormgevende invloed, waarbij zowel kleur en intensiteit van het licht, als de duur der belichting van belang zijn.

Om een versnelling van de groei te krijgen (punt 1) is dus een hoge intensiteit van het licht noodzakelijk. Deze toepassing van TL-licht zal daarom nogal kostbaar zijn. Tot nu toe blijkt zij dan ook alleen economisch te zijn bij het bestralen van jonge zaaizels, waarbij men op een klein oppervlak vele plantjes bijeen heeft staan. Deze planten krijgen dan een



Fig. 172

Kelderruimte die met TL-lampen is ingericht voor het bewaren van pootaardappelen. Doordat het licht tussen de bakjes doorschijnt, wordt het spruiten van de aardappelen in deze bakjes tegengegaan.

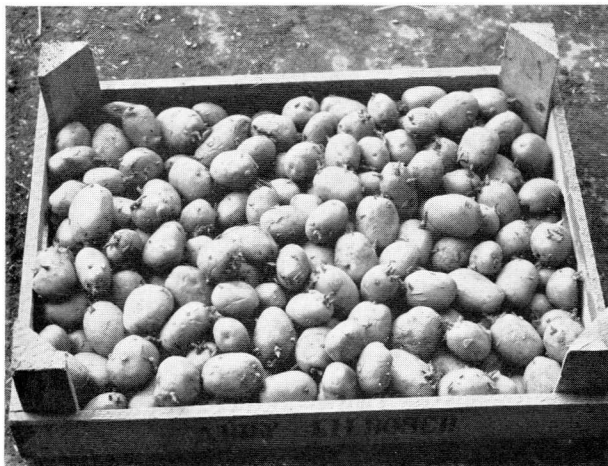


Fig. 173

Boven: Pootaardappelen die werden bewaard in een keuken.
Er hebben zich lange spruiten ontwikkeld.

Onder: Pootaardappelen die werden bewaard in een kelder met
TL-licht. De spruiten zijn zeer kort, donker en sterk.

voorsprong, waardoor ze bij het uitplanten in het vroege voorjaar (als het natuurlijke licht voldoende is geworden) verder ontwikkeld zijn dan gelijktijdig uitgezaaide en niet extra belichte planten. Op deze wijze kunnen soms met een of meer TL-lampen per m² verlichtingen worden verkregen die rendabel zijn bij komkommers, sla, gloxinia's, lelies, varens en waarschijnlijk ook bij verscheiden andere plantensoorten. Gloeilampen zijn door hun grote warmtestraling voor deze toepassing ongeschikt.

Een beïnvloeding van de bloei door de verlichting (punt 2) is meer afhankelijk van de belichtingsduur dan van de intensiteit; hierbij zullen dus eerder

economische resultaten zijn te verwachten. Men kan echter al bevredigende resultaten verkrijgen door gewone gloeilampen te gebruiken voor de lichttijdverlenging, zoals reeds enige jaren lang wordt gedaan bij de begoniacultuur. Toch schijnt het, dat TL-lampen nog geschikter zijn. Gloeilampen veroorzaken nl. door hun infrarode straling bij vele plantensoorten een overmatige strekking van de stengels. Bij verscheiden planten

(calceolaria, cineraria, e.a.) is deze strekking dusdanig, dat de planten te lang en te slap worden en daardoor voor verkoop ongeschikt zijn. Bij TL-verlichting ziet men dit verschijnsel niet optreden. Ook ten aanzien van begonia's zijn sommige kwekers van mening, dat het stekmateriaal dat onder gloeilampenlicht is gegroeid, minder sterk en gedrongen is dan het materiaal dat onder fluorescentielampen werd gekweekt.

De vormgevende invloed van het licht (punt 3) geeft ook een aantal toepassingsmogelijkheden voor fluorescentielampen. Sedert kort worden veel pootaardappels bewaard in kelders met TL-verlichting. Pootaardappels moeten tot April worden bewaard, en moeten tot die tijd zo min mogelijk sprouiten. Dit wordt bereikt door een combinatie van lage temperatuur en licht. In de praktijk loste men dit probleem op door glazen poterbewaarpplaatsen te bouwen, ten einde voldoende licht te krijgen. In zulke bewaarplaatsen loopt op warme voorjaarsdagen de temperatuur echter veel te hoog op, zodat de resultaten van deze methode niet bevredigend waren. Thans brengt men de poters in kelderruimten die vorstvrij en steeds koel zijn, en monteert men daar verticaal aan de wanden TL-lampen. Het licht schijnt dan tussen de poterbakjes door en remt de spruiting. Door hun sterke warmtestraling en schaduwwerking zijn gloeilampen voor dit doel niet geschikt.

Het forceren van tulpen tot vroege bloei geschiedt tegenwoordig ook vaak onder kunstlicht. Gewoonlijk werden tulpen getrokken in kassen, waar dus warmte en licht de bollen tot groei en bloei brachten. Daar echter een kas, uit verwarmingsoogpunt beschouwd, zeer oneconomisch is, lag het voor de hand het trekken te proberen in goede, tegen warmte geïsoleerde schuren, waarin door middel van lampen voor voldoende licht wordt gezorgd. Het bleek, dat men op deze wijze goedkoper en met minder kans op mislukkingen tulpen kan forceren. Zowel gloeilampen als TL-lampen zijn voor dit doel geschikt gebleken, zodat het van de prijs van electriciteit en van de installatie zal afhangen of gloeilampen-, dan wel TL-licht het meest economisch is.

Zeer kort geleden bleek, dat ook seringen op deze wijze met minder kosten in schuren met TL-licht in bloei getrokken kunnen worden, zodat ook daar wellicht praktische gebruiksmogelijkheden voor de TL-buizen liggen.

Alle in dit boek geplaatste foto's zijn genomen uit het Philips Fotoarchief, behoudens de figuren 153, 158, 159, 168, 169 en 170, die door de General Electric Co, Cleveland, en figuur 156, die door Commonwealth Edison Co, Chicago, welwillend ter beschikking werden gesteld.

REGISTER

A

aanslag van atomen.....	60
aardalkalioxyde	58
achtergrond.....	177
activator	14
adaptor.....	156
afscherming.....	144
algemene verlichting	182
anode	57
anodeval	62
anomale glimontlading.....	67
apatiet	24
arbeidsfactor	71, 120
armaturen	143
asymmetrisch armatuur	153
atoommodel van Rutherford-Bohr ..	6
„ATTRALUX”	282

B

ballastlamp.....	160
bedrijfstemperatuur	130
bimetaal.....	100
bioscoopverlichting	235
Bitterman, M. E.	193
Boer, J. B. de	193
boogontlading	57
Bouma, P. J.	32, 49
brightness engineering	189
brommen	137, 162

C

cadmiumboraat.....	24
caféverlichting	234
Cascariolus, V.	13
chemiluminescentie	8
chinine	11
chromatische aanpassing.....	51
C.I.E., Comm. Intern. de l'Eclairage	33, 49
circline lampen	93
Cobb, P. W.	193
colorimeter	45
compensatiecondensator	105
„COMPTALUX”	228
condensator	134

comfortabele helderheden.....	190
constante van Planck.....	7
contrast	176, 184
contrastgevoeligheid	184
contrastverblinding	204

D

daglicht	205
daglichtlampen.....	43, 92
deltafilter	114
depreciatie.....	211
detail	176
diepte van kantoorlokalen.....	218
dimmen	94, 114
D-lijn van natrium.....	10
Dorgelo, E. G.	119
dramatiseren	232
driefazenschakeling	108
duoschakeling	107

E

edelgas	87
elastische botsingen.....	60
electroluminescentie	8
electronemissie	57
electronengat.....	15
electron-volt	7
energiebalans	82
energieniveauschema.....	63
etalageverlichting	229

F

fazevershuiving.....	124
fluoresceïne	11
fluoriet	19
Fonda, G. R.	28
forceren van tulpen.....	249
fosforescentie.....	13
fosforzuur.....	26
fotocemische ontleding	28
fotoluminescentie.....	8

G

gasontlading	57
--------------------	----

REGISTER

geluidsmeting	141	kopspiegellampen	161
getterwerking	80	kortsluitstroom	120
glasdragers	158	kosmische straling	72
glimlichtstarter	100	koude kathodelampen	86, 93
glimmen	185	Kröger, F. A.	28
glimontlading	57	Kruithof, A. A.	193
gloeidraadstarter	101	Kruithof, A. M.	193
gordijnverlichting	242		
Grassmann	32	L	
groepscompensatie	106	lambert	184
grondtoestand	7	lamphouders	155
Guild	33	lampkarakteristieken	115
		Landoltse ringen	175
H		lekveld	138
halogeenfosfaten	24	levensduur van aangeslagen toestanden	65
handstarter	100	levensduur van isolatiemateriaal	131
hangmontage	164	lichtkoven	234
harmonischen	106, 119	lichtrendement	81
Harrison, Ward	193	lichtrimpel	108
helderheid	144, 171	lichtrooster	145
helderheidspatroom	200	lichtstroom	153
helderheidstechniek	197	lichtverdelingskarakteristiek	150
Helmholtz	32	louvre	145
hoge frequentie	111	louvre-all plafond	220
hogere harmonischen	103, 119	luchtspleet	138
hoofdveld	138	luminescentie	8
Huygens, Christiaan	5	Lythgoe R. J.	193
hysteresisverliezen	127		
		M	
I		magazijnverlichting	224
individuele montage	164	magnesiumwolframaat	23
industrieverlichting	203	magnetische starter	101
ingebouwde lichttroggen	213	magnetostrictie	138
inwendige ontsteekstrip	97	manteltype	133
ionisatie	60	metastabiele niveau's	65
ionisatiespanning	63	millilambert	184
isolatiematerialen	131	montage	163
		montage in rijen	164
K		montagekoker	155
kantoorverlichting	212	Mulder, J. G. W.	122
karakteristiek	65	museumverlichting	236
kataphoresis	79		
kathode	57	N	
kathodeluminescentie	8	nachtlamp	95
kathodeval	65	nalichttijd	21
kernlading	62	negatieve ionen	57
kerntype	133	negatieve karakteristiek	65
Kirchhoff	41	negatieve ruimtelading	62
kleurendriehoek	33	Newton	5, 20
kleurpunt	35	nitrocelluloselak	27
kleurtemperatuur	41	normale glimontlading	65
kleurtolerantie	45	normen voor de verlichting	180
kleurweergave	46		
koele kleuren	200	O	
koppelstuk	166	ompolen	114

- onderhoud 167, 211
 ontsteekstrip 96
 ontsteking 71
 ontstoringcondensator 99
 ophangbuizen 164
 ophanginrichting 163
 Oranje, P. J. 91
 oscillogrammen 119
- P**
- „PERSPEX” 246
 plaatselijke verlichting... 171, 182, 205
 plafondmontage 163
 plafondrail 165
 Planck 41
 plantenbestralers 246
 plastic 148
 positieve ionen 57
 positieve karakteristiek 67
 positieve zuil 68
 potentiaal 61
 primaire resonantiestraling 10
 Pringsheim, P. 28
- Q**
- quantenrendement 21, 81
- R**
- radio-ontstoring 114
 remissiefactor 46
 rendement 120, 173
 rendement van het armatuur 153
 resonantielijnen van Hg. 75
 resonantiestraling 10
 restaurantverlichting 234
 Riehl, N. 28
 ritselen 138
 ruimteladingen 61
- S**
- schaduwen 187, 207
 scheeliet 19
 schildwacht 102
 Schneider, E. 193
 schoolverlichting 220
 schoonmaken 168
 Schumacher, R. V. 193
 secundaire resonantiestraling 10
 Seitz, F. 28
 serieschakeling 109
 slagschaduwen 207
 slimline lampen 93
 sluitspanning 100
 smoorspoel 105
 spaarlektransformator 107
 spiegelbeelden 204
 spiegeling 185
 sportverlichting 233
 stabilisatie 68
 stapelhoogte 128
 stap in de kleurendriehoek 46
 starter 99 e.v.
 starterhouder 155
 starterloze lamp 96
 Steinmetz schakeling 110
 stilb 189
 Stokes, wet van 11
 stootvoegen 138
 straatverlichting 245
 stroboscopisch effect 233-234
 stroomregulatorbuis 122
 sulfidefosforen 15
 suspensie 27
- T**
- tekenzaalverlichting 222
 temperatuurstraling 7
 theaterverlichting 235
 thyatronschakeling 115, 235
 Tinker, M. A. 193
 tolerantie-ellips 46
 toleranties 136
 trapsgewijze ionisatie en aanslag 68
 trogarmaturen 154
 tulamp schakeling 107
 tweelampschakeling 107
- U**
- uittreepotentiaal 58
 uranylzouten 19
- V**
- veldsterkte 61
 venster 128
 verblinding 171
 verlichtingsniveau 171
 verlichtingsnormen 174, 180
 verlichtingssterkte 173
 verlichtingstabel 181
 Vermeulen, D. 193
 verwisselen van lampen 168
 Vincentius Cascariolus 13
 visuele prestatie 175
 vitrines 237
 Vogel, M. 28
 vulfactor 128
- W**
- Waller, A. 193
 wandornamenten 235

REGISTER

wandtemperatuur	76
warme kleuren	200
warmte-ontwikkeling	243
warmtint, warmwit	43, 92
wervelstroomverliezen	127
Weston, H. C.	175, 193
Wien	41
Willemiet	19
winkelverlichting	224
Wood	8
Wright	33

Y

Young	32
ijzerkern	126
ijzer-waterstofweerstand	122

Z

zaagtandplafond	223
zink-berylliumslicaten	22
zwart lichaam	41