

Ontwikkeling van kunstmatige lichtbronnen voor algemene verlichting

Citation for published version (APA):

Kruithof, A. A. (1979). *Ontwikkeling van kunstmatige lichtbronnen voor algemene verlichting: richtlijnen en enkele persoonlijke ervaringen*. Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1979

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Diesrede 1979

N

Prof.dr. A.A. Kruithof

Ontwikkeling van kunstmatige lichtbronnen
voor algemene verlichting.

Ontwikkeling van kunstmatige lichtbronnen voor algemene verlichting.

Richtlijnen en enkele persoonlijke ervaringen

door A.A.Kruithof

Dames en heren, ter gelegenheid van de drie en twintigste dies natalis van deze hogeschool wil ik met U stilstaan bij de ontwikkeling van kunstmatige lichtbronnen. Tevens plaats ik deze beschouwing gaarne in het kader van de lichtmanifestatie 1979. Het comité, dat de genoemde manifestatie organiseert, geeft een diktaat „Licht belicht" uit, waarin Dr. Fr. Roeck heel wat vertelt over niet-elektrische lichtbronnen, terwijl Ir. H. Nienhuis de ontwikkeling van elektrische lichtbronnen uitvoerig behandelt. Deze stof zal ik als stramien voor mijn beschouwing gebruiken.

Gedurende ruim 60 jaar gebruikte ik heel wat soorten van lichtbronnen. Bovendien was ik goed 20 jaar lang nauw bij de ontwikkeling daarvan betrokken. Daarom wil ik ingaan op enkele richtlijnen, die wij bij ons werk soms bewust, soms onbewust hanteerden, of waarvan ik nu, weer bijna 20 jaar later, het gevoel heb, dat zij al van de vroegste tijden af een grote rol speelden bij de ontwikkeling van kunstmatige lichtbronnen.

Het gebied, waarvan mijn betoog een indruk wil geven is erg uitgebreid. Daarom zal het verhaal een kaleidoskopische indruk maken. Om toch het verband te bewaren, zal ik dan ook telkens verwijzen naar de richtlijnen. Verder zal ik mij, om het gebied te beperken, vrijwel alleen bezig houden met lichtbronnen voor algemene verlichting, binnenshuis en buitenshuis. Lichtbronnen voor speciale toepassingen zullen alleen worden genoemd als zij een bepaalde richtlijn bijzonder duidelijk illustreren. Ook zal ik niet spreken over de vele interessante onderzoeken die ten doel hadden, het mechanisme van de diverse soorten lichtbronnen na te vorsen en daarvoor modellen op te stellen.

Er zullen wel ideeën ter sprake komen, die op het eerste gezicht een belofte inhielden om een eindweegs op te schieten langs een richtlijn maar, die onbruikbaar waren, of, zoals dat bij dergelijk werk zo vaak gebeurt, uitliepen op iets heel anders dan men had bedoeld.

Tenslotte zal ik het betoog illustreren met enkele persoonlijke herinneringen aan werkelijk gebruikte lichtbronnen en aan typische voorvallen.

Zo pas sprak ik over de vroegste tijden. Als men bedenkt, dat sporen van opzettelijk aangelegd vuur worden gevonden in aardlagen, die vele honderdduizenden jaren oud zijn, zal men inzien, dat de geschiedenis van kunstmatige warmte en licht in lang vervlogen tijden begint. Maar wij kunnen nū nog meevoelen, dat een houtvuur als bron van warmte en licht heel goed van pas kwam. Wie herinnert zich niet, ooit om zo'n vuur te hebben gezeten in de koude en donkere nacht met een deken om, omdat ja anders van achteren zo koud werd en van voren verschroeide? Er heerst, ook voor ons, om zo'n vuur een gevoel van veiligheid en van grote verbondenheid. Binnenshuis, evenals eertijds in bewoonde holen of grotten geeft het open haardvuur een afstraling van gezelligheid. We moeten bedenken, dat nog wel tot in de 19^e eeuw in kleine boerderijen het haardvuur de enige warmte- en lichtbron was.

Het houtvuur geeft, behalve enig licht, ook veel warmte. Daarom had het - als lichtbron gezien - een nadeel. Officieel zouden wij moeten zeggen, dat het een geringe specifieke lichtstroom heeft. Hiermee wordt bedoeld, dat de verhouding van de opgewekte lichtstroom in lumens tot de toegevoerde energiestroom in watts, heel klein is. De naam specifieke lichtstroom is zo'n mondvol, dat wij zullen spreken over „lichtrendement”, een woord, dat onjuist is, maar heel aardig uitdrukt wat wordt bedoeld. Het gevolg van het geringe lichtrendement van het houtvuur was - en is nog steeds - dat men veel hout moet aanslepen om het vuur, dat is het licht gaande te houden.

De behoefte, dit bezwaar te verminderen geeft ons de eerste richtlijn voor de ontwikkeling van nieuwe lichtbronnen.

I. Men zoekt naar lichtbronnen met een zo hoog mogelijk lichtrendement.

Een tweede bezwaar van het houtvuur was, dat je op elke nieuwe plaats, die je wilde verlichten, een nieuw vuur moest aanleggen. Niet altijd had men daarvoor een „vuurboor” of een tondeldoos bij de hand. In oude tijden waren dan ook veelal oudere vrouwen de „hoedsters van het vuur”; op Nieuw Guinea komt deze functie van oudere vrouwen nog voor. Zij waren er mee belast, bij zwerf-

tochten van de stam, kooltjes vuur mee te nemen, zodat men op een nieuwe rustplaats snel en gemakkelijk weer vuur kon maken.

In onze familie gaat een verhaal, dat hieraan herinnert, en dat ongeveer 120 jaar geleden speelde: Mijn grootmoeder, toen nog een jonge vrouw van omstreeks 25 jaar, woonde op de boerderij „de Vuurkule”, gelegen tussen Harderwijk en Nunspeet. Men had koeien in een weide op een afstand van ongeveer 20 minuten gaans in de buurt van de huizen „Hulshorst” en „Essenburg”. Als die koeien s'morgens om vijf uur gemolken moesten worden - wat de vrouwen dan gingen doen - was het prettig in de stal op het weiland vuur en licht te hebben. Daarom stak één van de melksters, mijn grootmoeder, thuis een pijp op, die ze aanhield tot in het melkhok. Met het vuur van de pijp werd dan in de stal vuur en licht gemaakt.

De wens, dergelijke gecompliceerde of tijdrovende oplossingen te vermijden, voert tot de tweede richtlijn:

II. Men zoekt naar een robuuste, makkelijk verplaatsbare lichtbron.

Daarmee kon men ook nog wilde dieren weggagen of iemand bijlichten op een moeilijk begaanbaar pad.

Hoe men aan de eerste richtlijn is gaan voldoen, onttrekt zich gedurende lange tijd aan onze waarneming. In 1928 werd in Frankrijk een olielamp gevonden, waarvan men de ouderdom op ca. 80.000 jaar schat. Vast staat, dat in de grotten met paleolithische tekeningen, naast sporen van houtvuren, olielampen zijn gevonden. De takeningen werden vervaardigd tussen 30.000 en 15.000 jaren geleden. Om op het idee te komen, zo'n lamp te vervaardigen, moet men hebben opgemerkt, dat de brandstof, olie of gesmolten dierlijk vet, uit een reservoir door een pit naar de vlam wordt opgezogen. Het voordeel van deze lampen is allereerst, dat de vlam steeds helder, met een temperatuur van ca. 1900 K brandt, terwijl een houtvuur flakkert. De vlammen zijn ook wel helder, maar het gloeiende hout veel minder. Weliswaar is ook de verplaatsbaarheid van de lamp wat beter dan die van het vuur, zodat men ook een stukje is opgeschoten in de richting van de tweede richtlijn, maar omdat het oliereservoir van de lamp een uitgeholde steen was, zou de olie bij verplaatsen toch vlug verspild zijn. In steeds verbeterde vorm hebben deze olielampen gedurende de gehele klassieke oudheid en nog lang daarna een wijd verbreid gebruik gevonden.

Zo zag ik gedurende de eerste wereldoorlog nog wel, dat men als lampjes glazen gebruikte, gevuld met raapolie, waarin een pit drijvende werd gehouden door een drijvertje, bestaande uit drie schijfjes kurk, verbonden door ijzerdraad. Dergelijke lampjes waren ook in de hongerwinter van de tweede wereldoorlog in gebruik, maar toen was het glas grotendeels met water gevuld. Bovenop dreef een laag olie en daarop het drijvertje, nu gemaakt van kurk en gilletteemesjes.

Aan de tweede richtlijn kon, uitgaande van het houtvuur, gemakkelijk, zij het maar voor korte tijd worden voldaan door daaruit een brandende tak te nemen. Ook hier bleef echter een hoog lichtrendement gewenst, omdat het ongemakkelijk is, wanneer men op een verre tocht een grote hoeveelheid brandstof moet meenemen als voorraad. Als resultaat van de verdere ontwikkeling kunnen we de fakkel of flambouw zien, die in de oudheid en ook in de middeleeuwen veel als verplaatsbare verlichting werd gebruikt. Trouwens, nog steeds is een fakkeloptocht een imposant gezicht.

Keren wij terug naar de aloude olielamp, die wij nu beschouwen als een toestel, waarin licht wordt opgewekt door het op hoge temperatuur brengen van een vaste stof. In dit geval gaat het om kleine vaste kooldeeltjes in de vlam met een temperatuur van ca. 1900 K. Wij weten nu, dat het lichtrendement van deze soort lichtbronnene snel toeneemt als de temperatuur van de vaste stof wordt verhoogd.

Kort voor het begin van de 19^e eeuw paste de zwitser Argand in de olielamp een cilindervormige pit toe, waardoor in het midden lucht werd aangezogen. Daardoor werd de vlam heter dan in lampen met een draad- of lintvormige pit. Zodoende vorderde Argand een eindweegs volgens richtlijn I in de richting van hoger lichtrendement.

Vier van dergelijke Argand-lampen hingen in elk lokaal van 6×6 m van de school, waarvan mijn vader in de Betuwe van 1909 tot 1916 hoofd was. Een zéér ruwe schatting aan de hand van de lesuren en de verbruikte hoeveelheid olie levert een lichtrendement van enkele tienden lm/W; de lamp was nog steeds een flinke kachel!

Veel van de klaarblijkelijke ongemakken van de olielamp werden vermeden door het gasgloeilicht. Oorspronkelijk, in de

19^e eeuw gebruikte men z.g. vleermuisbranders, waarbij het gas gewoon aan de lucht verbrandde met een lichtgevende vlam. In deze vlam produceerden ook weer gloeiende kooldeeltjes het licht. De temperatuur van de kooldeeltjes was ongeveer gelijk aan die van de deeltjes in de oude olielamp en het lichtrendement was dus erg laag. Later voerde men net als in de Bunsenbrander, meer lucht toe, waardoor de vlam enige honderden graden heter werd, maar tevens een lichtblauwe kleur kreeg en maar heel weinig licht uitstraalde. In deze vlam kunnen echter geëigende vaste stoffen hoog worden verhit. Auer von Welsbach gebruikte hiervoor in 1892 oxyden van zeldzame aarden, die selektief stralen. Zij geven weinig infrarode straling en veel zichtbaar licht, zodat een flink lichtrendement werd verkregen. Met gasgloeilicht was het huis in Almelo, waar wij in 1917 in kwamen, verlicht.

Een collega van mijn vader had iets, dat voor mij heel wonderlijk was. Bij de deur in elk vertrek in zijn huis was een knopje en als je dat een kwartslag omdraaide, ging er ergens aan het plafond een lamp aan! Zo maakte ik kennis met elektische verlichting.

Over de ontwikkeling van de gloeilamp kunnen wij kort zijn. Deze is uitvoerig beschreven door Nienhuis. Het begon in 1802, toen Humphrey Davy platina draden met behulp van elektrische stroom tot gloeien bracht. Een belangrijke bijdrage was het werk van Edison, dat dit jaar herdacht wordt. Hij bepaalde zelf het lichtrendement van zijn kooldraadlampen door meting. Bij gebrek aan een wattmeter mat hij het opgenomen vermogen met een calorimeter. De uitkomst was 1.7 lm/W, later werden de metingen van het lichtrendement steeds verder verfijnd, Zij werden een van de grondslagen voor de ontwikkeling van lichtbronnen.

De kooldraadlamp van Edison had het bezwaar, betrekkelijk kwetsbaar te zijn en dus slecht te voldoen aan de tweede richtlijn. De verdere ontwikkeling was dan ook niet alleen gericht op het verhogen van het lichtrendement, maar ook op het robuster maken van de lamp. Bovendien speelde het een belangrijke rol, dat men niet graag al te vaak defekte lampen uitwisselt. Niet alleen kosten zowel de lamp zelf als het uitwisselen geld, maar het uitvallen van een lamp veroorzaakt vaak een hinderlijke storing. Men kan dus een derde richtlijn opstellen, die

in het bijzonder voor elektrische lichtbronnen zin heeft, omdat daarbij de energiebron altijd voorhanden is:

III. Men zoekt naar lichtbronnen met een lange levensduur, voorzover niet een van de andere richtlijnen zich daartegen verzet. Is dit wel het geval, dan zoekt men een compromis.

Doordat de gloeidraden van gloeilampen bij hoger temperatuur steeds sneller verdampen, treedt een heel sterke afname van de levensduur op bij hoger temperatuur van de draad, dat is voor lampen van gelijke constructie bij hoger lichtrendement. Berekeningen toonden aan, dat een gunstig compromis voor algemene verlichting tussen de eisen van hoog lichtrendement volgens richtlijn I en lange levensduur volgens richtlijn III wordt verkregen bij een levensduur van 1000 uur. Voor dit gebruik werd de levensduur van gloeilampen daarom op 1000 uur genormaliseerd. Direct na de bevrijding van Eindhoven, op 18 september 1944, toen maar heel weinig elektrisch vermogen ter beschikking stond werden daarom gloeilampen met een levensduur van 700 uur en een hoger lichtrendement gebruikt. Voor andere toepassingen, waar veel licht erg belangrijk is, gebruikt men kortere levensduren, zodat de gloeidraad helderder is. Voor projectielampen heeft men bijv. 50 uur gekozen.

Voor algemene verlichting gebruikt men nu de gasgevulde gloeilamp met dubbel gesignaliseerde gloeidraad, ingevoerd in 1932. De temperatuur van de gloeidraad is 2850 K, het lichtrendement bedraagt, al naar de grootte van de lamp 12-19 lm/W. Toch is het bij alle gloeilampen nog steeds zo, dat slechts een relatief klein gedeelte van alle uitgezonden straling zichtbaar licht is. Het grootste deel bestaat uit infrarode straling.

Hier is het de plaats, enkele ideeën ter sprake te brengen, die veelbelovend leken, maar die om de één of andere reden niet tot een algemeen gebruikte lichtbron uitgroeiden.

Voortgaande op de weg, die Auer von Welsbach opende met het gasgloeikousje, verhitte Nernst een stift, bestaande uit een geperst mengsel van oxyden doormiddel van een elektrische stroom. De temperatuur kon hoog worden opgevoerd en de oxyden straalden behoorlijk selektief, zodat het lichtrendement relatief hoog was. Maar - het was onpraktisch, dat de staaf

moest worden vóórverhit met een vlam of een gloeidraad om de stroom op gang te brengen. Het werd geen lichtbron voor algemene verlichting, wel een stralingsbron voor infrarode straling.

In dezelfde lijn als de Nernst-stift lag de tantaalcarbide pil met hoogfrequente verhitting. De temperatuur van tantaalcarbide kan tot dicht onder 4000 K worden opgevoerd zonder dat deze stof snel verdampt. Er ontstaat een zeer heldere lichtbron, die enige honderden watts opneemt. Maar, om dit vermogen in de pil te concentreren, is een zender met enige kilowatts vermogen nodig. Zodoende is deze lichtbron alleen bruikbaar voor doeleinden, waarvoor de verkregen hoge helderheid (luminantie) van zeer groot belang is.

Voor dezelfde doeleinden als waarvoor de tantaalcarbidelamp was bedoeld, was al geruime tijd de gewone, aan de lucht brandende koolboog in gebruik. De anodekrater wordt door de boogontlading verhit tot 3985 K en is dus even helder als de tantaalcarbidepil. Humphrey Davy, die ook voor het eerst platina draden deed gloeien, demonstreerde in 1810 de eerste koolboog. Van ca. 1860 tot 1910 werden koolbogen voor algemene verlichting gebruikt. De rol van de koolboog in de algemene verlichting was al vlug uitgespeeld, omdat - in strijd met onze derde richtlijn - telkens vernieuwing van de koolstaven nodig is. Voor filmprojectie kon de boog zich nog lange tijd handhaven vanwege de hoge helderheid van de anodekrater.

Langs twee wegen heeft men gepoogd, van vaste stoffen lichtbronnen te maken, zonder hoge temperaturen te gebruiken.

Eén van de potentiële mogelijkheden was de elektroluminescentie. Wanneer men een laag met de juiste stoffen verontreinigde kristalletjes van bijv. zinksulfide in een elektrisch wisselveld van voldoende sterkte brengt, geven deze licht. Het lukt, hiervan lichtende vlakken te vervaardigen en er waren al visioenen van kamers met een lichtend plafond of lichtende wanden. Het lukte echter niet een groter lichtrendement te verkrijgen dan enkele lm/W en daardoor zou een lichtend vlak van voldoende helderheid erg veel op een straalkachel lijken, in strijd met richtlijn I.

Een tweede mogelijkheid zag men in bepaalde halfgeleiders, zoals bijv. gallium arsenide. Door in twee door een grenslaag

gescheiden delen van één kristal geschikte verontreinigingen aan te brengen, verkrijgt men een gelijkrichter. Stuur men een elektrische stroom in de doorlaatrichting door het kristal, dan verzamelen zich bij de grenslaag elektronen en lege plaatsen voor elektronen, z.g. „gaten”. Valt een elektron in een gat, dan spreekt men van recombinatie. Daarbij komt energie vrij, die wordt uitgestraald als licht. Uit het onderzoek van de mogelijkheden kwam geen lichtbron voor algemene verlichting voort, maar wel een voor opto-elektronische toepassingen. Ook worden er lasers gemaakt, waarin de straling op de beschreven manier wordt opgewekt.

Intussen waren rond 1900 de gasontladingslampen op het verlichtingsstoneel verschenen in de vorm van Moore-lampen, gevuld met lage druk koolzuurgas of stikstof.

Hoge verwachtingen voor het lichtrendement van lampen, gevuld met natriumdamp van lage druk werden gewekt door proeven in 1920 van Compton en van Voorhis in Amerika en in 1922 van Pirani en Lax te Berlijn. Met lampen, die in een oven op de benodigde temperatuur van rond 260°C werden gehouden, verkreeg men ca. 400 lm/W. Voor de praktische toepassing laat men de lamp, voorzien van een zo goed mogelijke warmte isolatie, zelf voor de verhitting zorgen. Dan verkreeg men in de dertiger jaren een lichtrendement van ca. 80 lm/W. Met deze lampen werden vóór 1940 in ons land reeds een aantal verkeerswegen verlicht. In Amerika en Duitsland zag men, merkwaardig genoeg, toentertijd niet zoveel in deze verlichting.

P. Cooper maakte voor het eerst bruikbare ontladingslampen met kwikdamp van lage druk. In 1926 bracht F. Meyer voor het eerst fluorescentiepoeder op de wand van een lagedruk kwiklamp aan. Tien jaar later, dus in 1936 vertoonde A. Claude de eerste bruikbare fluorescentielamp.

Sinds eind 1939 hielden P.J. Bouma en ik ons intensief bezig met fluorescentielampen en al discussierende kwamen wij tot de fascinerende conclusie, dat het mogelijk moest zijn door het variëren van de verhouding der samenstellende fluorescerende stoffen, invloed uit te oefenen op de kleurweergave bij lampen van gegeven lichtkleur.

Nu lag een vierde richtlijn voor de hand, in het bijzonder voor lampen voor algemene verlichting:

IV. Men zoekt naar lichtbronnen met een redelijke tot goede, resp. zeer goede kleurweergave, al naar de behoefte, die uit de toepassing volgt.

Het belang van deze richtlijn werd voor mijzelf nog eens onderstreept door het volgende voorval, dat zich omstreeks 1942 afspeelde: Mij was gevraagd een fluorescentielamp te maken, die even goed met daglicht te combineren zou zijn als met het licht van gloeilampen. Een ruwe schatting liet zien, dat daarvoor de kleur gelijk moest zijn aan die van een vaste stof bij 4000 K. Het was een betrekkelijk klein kunstje, fluorescentielampen van die kleur te maken. Een model van een huiskamer werd gebouwd en ingericht, en een verlichting met de nieuwe lampen werd aangebracht. Toen deze verlichting werd gedemonstreerd aan een aantal heren van de commerciële afdeling Licht en enkele lichtadviseuses, knikten de heren instemmend, maar van de dames kwam er een fel protest. „Wij zien er afschuwelijk uit”, was hun commentaar. Het mengsel werd iets veranderd, zodat de lampen, gezien tegenover daglicht en het licht van gloeilampen, inplaats van een licht groenachtige tint, een zeer licht roze tint vertoonden - en de dames waren tevreden, omdat de kleurweergave nu veel beter was.

Bouma en ik konden omstreeks 1940 ook dieper op de kleurweergave ingaan, omdat er een goed gedefinieerd systeem van objectieve kleurmeting bestond. Dit systeem geeft een beschrijving van de kleuren, die men waarneemt als de voorwerpen in een donkere omgeving worden waargenomen, of wanneer zij tegelijk met de omgeving door daglicht worden verlicht. Maar als voor de verlichting een andere lichtbron wordt gebruikt, klopt het systeem niet meer, doordat het oog zich aan de omgevingskleur aanpast. De preciese invloed van deze aanpassing was nog onbekend. Het lukte ons, hierin meer inzicht te krijgen, en enige jaren na de dood van Bouma in 1947 kon, door middel van langdurige berekeningen worden voorspeld, dat bepaalde mengsels van gegeven fluorescerende stoffen een optimale kleurweergave zouden moeten hebben. Bovendien bleek een idee, dat G. Zecher al vóór 1940 had gehad, vruchtbaar te zijn; het absorberen van de sterke blauw-violetten kwiklijn bleek de kleurweergave van lampen, waarvan de lichtkleur overeenkomt met die van een gloeiende vaste stof bij 3000-4000 K zeer ten goede te

komen. Ouweltjes maakte de rekenmethode geschikt voor het gebruik van computers en paste hem toe op de nieuwe fluorescerende stoffen, de halofosfaten, die intussen in gebruik waren gekomen. Voor de absorptie van de blauw-violetten kwiklijn gebruikte hij magnesiumarsenaat, dat als tegenprestatie nog een hoeveelheid rood licht leverde ook. Zodoende werden fluorescentielampen verkregen met een kleurweergave, die nauwelijks afwijkt van die van het licht van een gloeiende vaste stof met een zodanige temperatuur, dat de lichtkleur gelijk is aan die van de lamp. Dit noemden wij een „natuurlijke“ kleurweergave. Later heeft men nog wel gestreefd naar frissere kleuren dan de „natuurlijke“ en dit streven is ook wel met een beperkt succes bekroond, maar in hoofdzaak waren er tot voor ca. 5 jaren twee typen fluorescentielampen. Eén type met een hoog lichtrendement, ca. 80 lm/W, en een ander type met zeer goede kleurweergave, waarvoor dan vrij veel lichtrendement moest worden opgeofferd.

Circa vijf jaar geleden werden nieuwe fluorescerende stoffen ontwikkeld, die in het spectrum smallere emissiebanden hebben, dan de tot dan toe gebruikte halofosfaten. Met de nieuwe stoffen verkreeg men zowel een hoog lichtrendement als een goede kleurweergave. Tevens vond men middelen om het sterk toenemen van de kwikdampdruk boven het optimum, dat ligt bij de verzadigde dampdruk van 42°C tegen te gaan. Daardoor kon de lamp dunner worden gemaakt. De nieuwe lamp heeft een diameter van 26 mm in plaats van 36 mm vroeger. Dit dunner maken kwam het lichtrendement ten goede. Het bedraagt nu - bij goede kleurweergave - ruim 80 lm/W.

Behalve de fluorescentielamp maakte ook de lage druk natriumlamp een spektakulaire ontwikkeling door in de richting van hoger lichtrendement, gewezen door de eerste richtlijn. Op grond van de oude proeven van Compton en van Pirani kon worden verwacht, dat een verbetering van de warmte isolatie van de ontlading tot een hoger lichtrendement zou leiden. Door het aanbrengen van een laag tinoxyde of indiumoxyde op de binnenkant van het eerste schutglas om de ontladingsbuis werd een betere isolatie verkregen door reflectie van infrarode straling, terwijl het zichtbare natriumlicht werd doorgelaten. Het lichtrendement steeg aanmerkelijk. Er zijn nu lampen met 200 lm/W. Het is zover gekomen, dat de stroomkosten voor de verlichting van een grote weg in het

niet vallen bij de andere kosten, die moeten worden gemaakt om de weg in bedrijf te houden. Tijdens de energiecrisis schakelden men in België de verlichting op de hoofdwegen uit. Toen daarop het aantal ongevallen sterk toenam, heeft men ijlings het licht weer aangestoken.

Na de gloeilampen en de lagedruk gasontladingslampen resten ons in het lampenarsenaal nog de hogedruk gasontladingslampen. De eerste kwiklamp met een dampdruk van ca. 1 atm. werd in een kwartsbuis gerealiseerd in 1906 door Küch en Retschinsky. Al spoedig viel de slechte kleurweergave van deze kwiklampen op; zij voldeden niet aan onze vierde richtlijn. Al in 1912 trachtten men door cadmium of zink aan het kwik toe te voegen, het gebrek aan rode straling aan te vullen. Maar ook hier hebben wij te maken met een idee, dat in strijd komt met zelfs twee andere richtlijnen. Zowel het lichtrendement als de levensduur gingen gevoelig achteruit door de toevoegingen, zodat deze niet konden worden toegepast, en het idee niet vruchtbaar was. Ook was er nog geen voor algemene verlichting bruikbare vorm van de ontladingsbuis gevonden. Met name de insmelting van de stroomtoevoerdraden was een moeilijk punt.

's Middags op sinterklaasdag 1934 werd de hele ploeg fysici, die op het Natuurkundig Laboratorium van de N.V. Philips Gloeilampenfabrieken werkte aan gasontladingen, uitgenodigd te komen kijken in de kamer van de heer C. Bol, die bekend stond als een duizendkunstenaar op het gebied van moeilijke technische problemen. Ook dr. G. Holst de directeur van het laboratorium was van de partij. Aan het plafond hing een lamp, die een intens, groenachtig licht uitstreaalde. Bol vertelde met zijn wat hesche stem: Met de insmeltingen wolfram-glas I-kwarts, die hij al eerder demonstreerde, had hij een kleine buisvormige lamp gemaakt, waarin een kwikontlading bij enige atmosferen dampdruk plaats vond. Iedereen was vol bewondering, ook de heer Holst, die zijn appreciatie uitdrukte en daarna vertrok. Toen hij de deur dichttrok, barstte het kwikbuisje. Dit was een van de eerste hogedruk kwiklampen, die onder de naam HP-lampen later in grote aantallen zouden worden vervaardigd en gebruikt.

Men maakte de kleur van de hogedruk kwiklamp minder groen door de naast het zichtbare licht geproduceerde ultraviolette straling door middel van fluorescerende stoffen om te zetten

in rood licht. Na enige verbeteringen zijn de verkregen lampen heel geschikt voor straatverlichting geworden, maar binnenshuis vallen de gebreken in de kleurweergave nog steeds op. Het lichtrendement is ruim 40 lm/W.

Kort na 1956 heb ik nog eens nagegaan, welke elementen je wel graag in de ontlading zou willen brengen om de kleurweergave te verbeteren, maar de meeste, die daarvoor geschikt leken, hadden een te lage dampdruk bij de wandtemperatuur van de buis. Andere gewenste elementen maken het kwarts van de buiswand zwart, zoals natrium, terwijl cadmium en zink, zoals al bekend was, levensduur en lichtrendement ongunstig beïnvloeden. Er was dus niet veel hoop, in de richting van richtlijn IV, betere kleurweergave te verkrijgen. Rond 1960 kwam er toch een mogelijkheid met de hogedruk kwiklamp verder te komen, niet alleen in de richting van richtlijn IV, maar ook in die van richtlijn I, d.i. hoger lichtrendement. Vele verbindingen van de halogenen, fluor, chloor, broom en jodium met metalen, halogeniden dus, zijn vluchtig bij ca. 1000 K, de wandtemperatuur van de hogedruk kwikontladingsbuis van 400 W, maar zij zijn bij deze temperatuur wel stabiel, ja, zij vormen zich snel uit de damp van het metaal en de halogenen. De kwartsbuis wordt dus niet aangetast door het vrije metaal. Bij ca. 6000 K, in de as van de ontlading zijn zij echter volledig gedissocieerd. Het gevolg is, dat de spektraallijnen van het toegevoegde metaal in het spectrum van de ontlading verschijnen, zodat men lampen kan maken, die over het hele zichtbare spectrum vele spektraallijnen uitzenden, waardoor de kleurweergave heel goed kan zijn.

Ir. L.B. Beijer van ons laboratorium kreeg de opdracht, na te gaan welke halogeniden bruikbaar zouden zijn. Er deed zich echter een moeilijkheid voor: Lampen, gemaakt volgens de in het laboratorium sinds jaren beproefde methode, wilden niet ontsteken. Dat leek logisch omdat halogenen gemakkelijk negatieve ionen vormen en zo elektronen uit de ontlading wegnemen. Tot onze verrassing ging alles veel beter als ervoor werd gezorgd, dat de kwartsbuizen goed watervrij waren, waarvoor we de benodigde technieken wel kenden. Toen was er voor de eerste ontsteking nog wel een korte stoot van hoge wisselspanning nodig, maar daarna kreeg de brandspanning normale waarden. Nadat dit punt was opgelost, kon het eigenlijke onderzoek van de combinaties

beginnen. Thans veel gebruikte halogeniden zijn die van natrium, thallium, indium, scandium, dysprosium en tin. Kwiklampen met toevoegsels van deze halogeniden kunnen bij goede kleurweergave een lichtrendement hebben van 80 lm/W en meer.

Omdat natriumdamp kwarts snel aantast, lukte het lange tijd niet, een hogedruk natriumlamp te maken. Pas nadat men had geleerd, vakuumdicht elektroden aan te brengen in ook vakuumdicht gesinterde buisjes van aluminiumoxyde, kon worden voldaan aan richtlijn III, die een flinke levensduur vraagt. Als gevolg van de hoge dampdruk is er op de plaats van de gele natriumlijnen in het spektrum een donkere band, maar ernaast, aan de kortgolvlige kant, zowel als aan de langgolvlige kant, wordt juist veel licht geproduceerd. Ook geeft de lamp een vrij sterk continu spektrum. Het licht van deze lampen heeft dientengevolge een niet al te verzadigde goudgele kleur en de kleurweergave is aanzienlijk beter dan die van de lagedruk natriumlamp.

Tenslotte vermeld ik nog een lichtbron met bijzonder natuurlijke kleurweergave. Het is de hogedruk ontladingslamp met een vulling van xenongas. Deze lampen werden - rond 1950 - eerst in Duitsland op de markt gebracht. Voor gasdrukken tot weinig boven 1 atm. gebruikt men cilindrische buizen. Wil men met de gasdruk ver boven 1 atm. gaan, dan moet men bolvormige ontladingsbuisjes, z.g. „bommetjes" gebruiken, die dan ook met de nodige voorzorgen en met het nodige respect moeten worden behandeld. Het lichtrendement van de lampen met ca. 1 atm. gasdruk bedraagt rondweg 35 lm/W.

Na deze, zoals ik in het begin al voorspelde, wat kaleidoskopische tocht langs de vele stations op de weg, die leidde tot de huidige lichtbronnen voor algemene verlichting, wil ik de beste resultaten, die werden verkregen nog eens met U bezien in het licht van de opgestelde richtlijnen.

I. Men zoekt naar lichtbronnen met een zo hoog mogelijk lichtrendement.

Resultaten:

Gloeilampen: tot bijna 20 lm/W.

Lagedruk gasontladingen: 80 - 200 lm/W.

Hogedruk gasontladingen: 35 - 100 lm/W.

II. Men zoekt naar lichtbronnen, die gemakkelijk verplaatsbaar en robuust zijn.

Resultaten:

Gloeilampen: Worden in weer en wind en „aan boord" van alle soorten verkeersmiddelen gebruikt.

Lagedruk gasontladingen: Worden op dezelfde plaatsen gebruikt als gloeilampen.

Hogedruk gasontladingen: Worden in weer en wind gebruikt.

- III. Men zoekt naar lichtbronnen met een lange levensduur, voorzover niet een van de andere richtlijnen zich daartegen verzet.

Resultaten:

Gloeilampen: Voor algemene verlichting worden deze gemaakt met een gemiddelde levensduur van 1000 uur.

Lagedruk gasontladingslampen: Deze lampen hebben een levensduur van vele duizenden uren, de fluorescentielamp bijv. heeft een gemiddelde levensduur van 7000 uur.

Hogedruk gasontladingslampen: Deze lampen hebben een levensduur van vele duizenden uren.

- IV. Men zoekt naar lampen met een redelijke tot goede, resp. zeer goede kleurweergave, al naar de behoefte, die uit de toepassing volgt.

Resultaten:

Gloeilampen: De kleurweergave is natuurlijk, maar niet perfect.

Lagedruk gasontladingslampen: Volledige aanpassing aan deze richtlijn is mogelijk met fluorescentielampen, natriumlampen overgieten alles met een gele schijn.

Hogedruk gasontladingslampen: Kwiklampen met toevoegingen van halogeniden kunnen een kleurweergave vertonen, die vrijwel gelijk is aan die van daglicht; de kleurweergave van xenonlampen is niet van die van daglicht te onderscheiden

Overzien wij de geschetste ontwikkeling van lichtbronnen nog eens in vogelvlucht, dan valt het op, dat in het begin de tijd werd geteld in honderdduizenden jaren. Daarna, ongeveer na het verschijnen van homo sapiens, in tienduizenden en duizenden jaren, dan tot 1800 in honderden jaren, tussen 1800 en 1900 in tientallen jaren, terwijl wij na 1900 drie ontwikkelingsstromen zien, de gloeilampen en de gasontladingslampen met lage

en die met hoge druk, die parallel lopen.

Nog blijft de versnelling doorgaan, zodat er na 1945 alweer verscheidene vernieuwingen zijn gekomen.

... Deze versnelling van het tempo is bij vrijwel alle vernieuwingen en veranderingen in de samenleving waar te nemen. Het is nu zover, dat in één mensenleven de samenleving meerdere malen verandert. In vroeger tijden duurden dergelijke grote veranderingen vele generaties. Het is voor de wat oudere mens een hele opgave, in dit proces niet hopeloos achter te raken, maar het trachten bij te blijven is wel een boeiende zaak!