

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 62 (1971)
Heft: 14

Artikel: Stand der Lichttechnik im Sektor "Lampen"
Autor: Kessler, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915836>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft (SLG)

SLG-Fachtagung
über
Lampen und Zubehör
vom 23. Oktober 1970

Einleitung

Das Ziel der SLG-Fachtagung «Lampen und Zubehör» bestand darin, über neuere Entwicklungen in den Sektoren Lampen und Vorschaltgeräte zu informieren. Grundsätzliches über deren Funktion und Wirkungsweise wurde als bekannt vorausgesetzt.

Den Informationen über Neuentwicklungen stehen an Bedeutung nicht nach alle in der Praxis auftretenden Probleme, denen Verbraucher und Lieferanten von Lampen und Zubehör täglich gegenüberstehen. Ihre wichtigsten zu behandeln, war ein weiteres Ziel der Tagung.

Die Publikation der Vorträge der SLG-Fachtagung «Lampen und Zubehör» wird sich in einer Fortsetzungsreihe über mehrere Hefte des Bulletins des SEV verteilen.
A. O. Wuillemin, Sekretär der SLG

Stand der Lichttechnik im Sektor «Lampen»

Vortrag, gehalten an der SLG-Fachtagung am 23. Oktober 1970 in Zürich,
von H. Kessler, Zürich

Wenn auch auf dem Gebiete der Lichterzeugung in den letzten Jahren keine revolutionierenden Neuheiten auf den Markt gekommen sind, so zeigen die Früchte der ständig andauernden intensiven Forschungsarbeit doch einige ganz beachtliche Neuerungen, die nicht nur gewisse Marktlücken zu schliessen vermochten, sondern auch neue Erzeugnisse, neue Lampentypen hervorbrachten. Einen beschränkten Abschnitt dieser Entwicklung soll in der Folge behandelt werden und zwar entsprechend dem historischen Gang der Dinge zuerst die Glühlampen und dann die Fluoreszenzlampen.

1. Glühlampen

Viele Leute glauben, die Herstellung von Glühlampen sei eine alte in sich abgeschlossene Technik, aus welcher nichts mehr, oder jedenfalls nicht mehr viel, herauszuholen sei. Das ist nicht der Fall. Die neuesten Entwicklungen zeigen, dass die jüngsten Erkenntnisse auf dem Gebiet der Technologie, der Physik und der Fertigungsmethoden neue Lampentypen zulassen, die neue licht- und beleuchtungstechnische Möglichkeiten sowie viele Wünsche der Applikationstechnik zu befriedigen vermögen. Diese Entwicklung wird auch sichtbar aus der Tendenz einer ständigen Vergrößerung der Typenzahl trotz intensiver Normungsbestrebungen. Die bemerkens-

wertesten Fortschritte auf dem Glühlampen-Sektor hat wohl die Anwendung von Haloiden gebracht, welche vielfach eine höhere Lichtausbeute, bessere Lebensdauer, ein weisseres Licht, geringeren Lichtstromabfall und kleinere Abmessungen von Filament und Aussenkolben ermöglichen. Von dieser Entwicklung profitiert in besonderem Masse der optische Zweig der Lichttechnik beim Bau von Scheinwerfern, Projektoren usw. Es werden heute ca. 20000 verschiedene Glühlampen-Typen hergestellt.

Die Glühlampe ist ein Temperaturstrahler, d. h. der Glühkörper wird durch einen elektrischen Strom auf hohe Temperatur gebracht und damit zur Strahlung angeregt, wovon ein Teil, ein sehr kleiner Teil, im sichtbaren Bereich des Strahlungsspektrums liegt. Je höher die Temperatur des Glühfadens, desto grösser ist die erzeugte Strahlungsenergie — sie nimmt zu mit der 4. Potenz der Temperatur — und desto grösser ist der Anteil der sichtbaren Strahlung. Dies geht aus Fig. 1 hervor, welche zeigt, in welchem Masse die Gesamtstrahlung steigt, und wie sich mit zunehmender Temperatur das Maximum der Kurve gegen den sichtbaren Teil des Spektrums verschiebt, welches ungefähr zwischen 400 und 700 nm liegt.

Die höchste theoretisch mögliche Lichtausbeute von 90 lm/W erhält man für den schwarzen Körper bei einer Temperatur von 6500 °K.

Für Wolfram, welches in den Glühlampen verwendet wird, und das eine Schmelztemperatur von 3655 °K hat, beträgt sie theoretisch 50 lm/W. Leider verdampft das Wolfram nahe dem Schmelzpunkt so rasch, dass die Lebensdauer einer Lampe unmöglich klein wird. Zudem würde die Kolbenabschwärzung einen allzugrossen Lichtstromrückgang verursachen. In der Praxis konnten bis jetzt max. 32 lm/W erreicht werden. Eine normale Standardglühlampe besitzt ca. 13...15 lm/W, die hochwattigen etwas mehr, diejenigen mit kleinerer Leistung etwas weniger.

In einer graphischen Darstellung, welche hier aus Platzgründen nicht gezeigt werden kann, sind die Lichtquellen in 3 Hauptgruppen gegliedert, nämlich in:

- Glühlampen
- Entladungslampen
- Fluoreszenzlampen

Die Glühlampen sind wiederum unterteilt in verschiedene ihrem Anwendungsbereich entsprechende Gruppen, nämlich die Lampen, welche vorwiegend der Beleuchtungstechnik dienen, z. B.:

- Standard- oder Allgebrauchslampen (klar, innenmatt, opalisiert)
- Lampen mit verstärkter Konstruktion (sog. stoffsteife Lampen)
- Lampen mit teilweise innenverspiegeltem Kolben (z. B. Kopfspiegellampen)
- Tageslichtlampen
- Kerzenlampen, Kugelformlampen
- Soffittenlampen
- Dekorationslampen, Zierlampen, gefärbte (bunte) Lampen

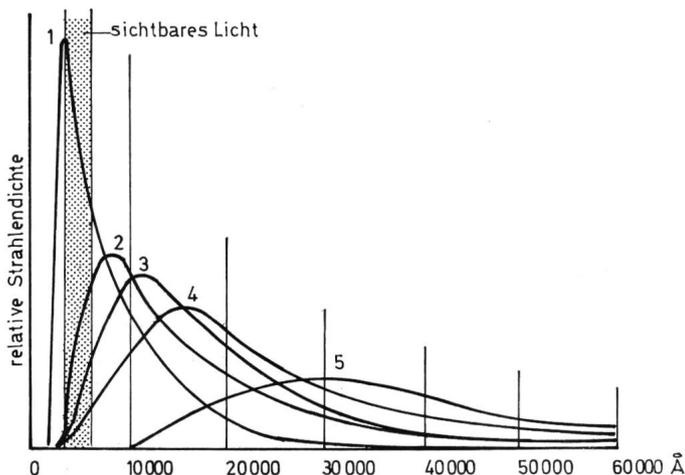


Fig. 1

Relative Energieverteilung bei gleicher Gesamtenergie

- 1 Sonne ausserhalb Erdatmosphäre; 2 Glühlampe; 3 Infrarot-Hellstrahler; 4 mittelwelliger Infrarotstrahler; 5 Infrarot-Dunkelstrahler

in eine Gruppe von Lampen für verschiedene Verwendungszwecke wie:

- Signal- und Skalenlampen
- Boots- und Zuglampen
- Röhrenlampen, Telephonlampen usw.

ferner sind die

- Reflektorlampen aus Pressglas oder mit geblasenem Kolben und die verschiedenen Arten von Photolampen zusammengefasst.

Eine weitere Gruppe bilden die Lichtquellen, die mehr der angewandten Lichttechnik oder der Lichtphysik dienen, das ist die grosse Zahl der Lampen für optische Zwecke und für die Projektion.

Ein besonderer Hinweis muss gemacht werden auf eine neue Technik der Lichterzeugung durch Temperaturstrahler,

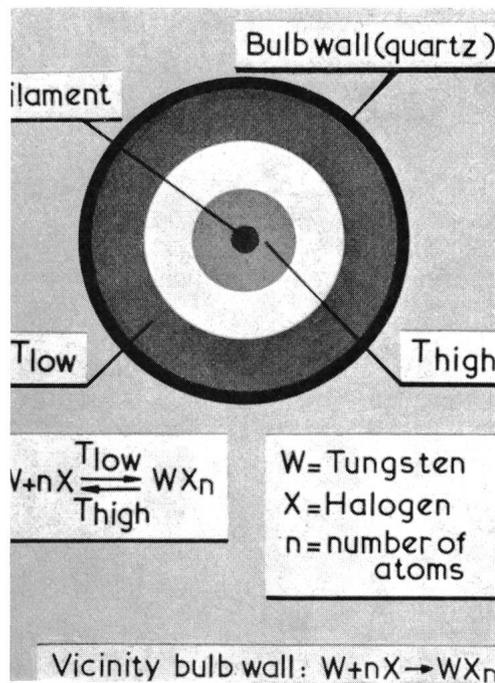


Fig. 2

Aufbau einer Halogen-Glühlampe

es sind die Glühlampen, in denen sog. Haloide zur Anwendung gelangen. Auf diese Technik soll in der Folge etwas näher eingegangen werden.

2. Halogen-Glühlampen

Der Kreisprozess, nach welchem sich der regenerative Zyklus in einer Halogen-Glühlampe abspielt, dürfte im Prinzip bekannt sein. Die Lampe besteht aus einem Wolframdraht und einem zylindrischen Glaskolben (Fig. 2), welcher mit Argon oder Krypton und einer kleinen Menge eines Halogens, z. B. Jod, gefüllt ist. Bei den hohen Temperaturen des Glühfadens wird ein Teil des Wolframs verdampft. Diese Wolframteile begeben sich infolge der im Kolbenraum herr-

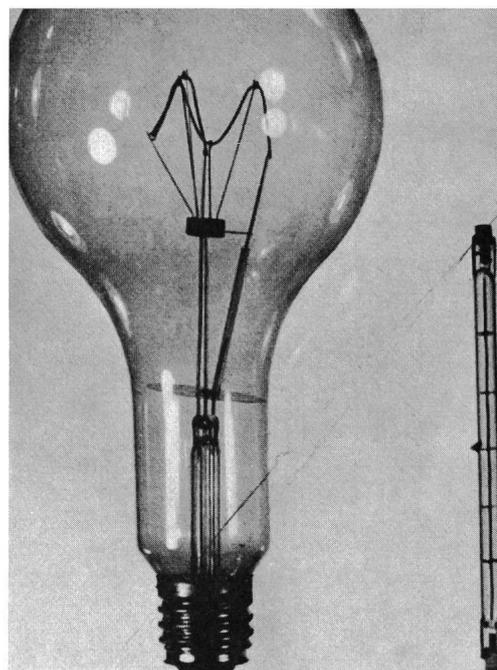


Fig. 3

Grössenvergleich: Halogen-Glühlampe zu Normal-Glühlampe

schenden thermischen Verhältnisse Richtung Kolbenwand, wo sich das Wolfram bei der relativ niedrigen Temperatur (600 °C) an der Kolbenwand auf Grund einer chemischen Reaktion mit dem Jod zu Wolframiodid verbindet. Dieses ist bei brennender Lampe gasförmig. Es diffundiert nach einem thermodynamischen Gesetz zu einem Ort höherer Temperatur, d. h. nach dem heissen Wendel, wo es wiederum in Wolfram und das ursprüngliche Halogen zerfällt, worauf der Prozess von neuem beginnt. (Die chemische Formel befindet sich auf Fig. 2 links unten, wobei für das verwendete Halogen ein x angegeben ist, als Hinweis darauf, dass die Anwendung verschiedener Halogene möglich ist.) Auf diese Weise bleibt der Kolben frei von Wolframniederschlag, d. h. es tritt keine Schwärzung auf, was eine drastische Verkleinerung der Kolbenfläche ermöglicht. Dies hat jedoch zur Folge, dass der Kolben, wegen der höheren Temperatur der Kolbenwand, aus hochschmelzenden Glassorten, wie z. B. Quarzglas hergestellt, werden muss. Die auf diese Weise stark verkleinerte Lampe — mit einem Volumen von nur einigen Prozenten der klassischen Ausführung — weist eine bedeutend grössere mechanische Festigkeit auf, so dass der Kolben ohne Gefahr mit Gas unter einem hohen Druck gefüllt werden kann, womit entweder eine

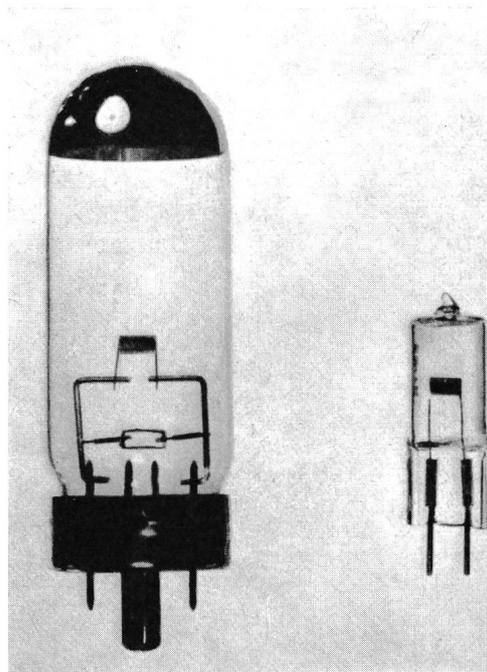


Fig. 5
Grössenvergleich: Lampe 150 W für Bildprojektor Halogenlampe zu konventioneller Glühlampe

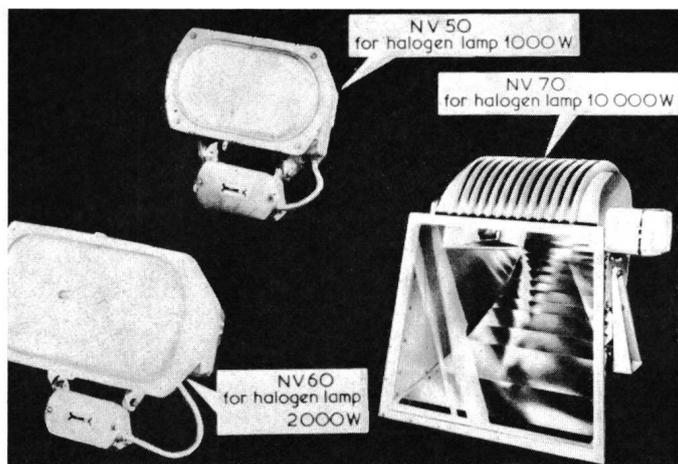


Fig. 4
Halogen-Scheinwerfer
1000, 2000, 10 000 W

Verlängerung der Lebensdauer oder eine Erhöhung der Lichtausbeute erreicht wird. Das Ergebnis ist also eine stark verkleinerte Lampe mit besseren Leistungen, die während ihrer gesamten Lebensdauer keinen Lichtverlust durch Schwärzung zeigt.

Anstelle von Jod kann auch Brom verwendet werden, ausserdem werden die Verwendungsmöglichkeiten anderer Halogene untersucht, z. B. Chlor, Fluor usw.

Dank der hohen Leuchtdichte des Filamentes und der kleinen Abmessungen von Glühwendel und Kolben sind die Halogenlampen besonders geeignet für die Anwendung in optischen Geräten.

Fig. 3 zeigt einen Vergleich zwischen einer normalen 1000-W-Glühlampe und einer 1000-W-Halogenlampe. Dementsprechend klein fallen auch die Lampengehäuse aus, was in Fig. 4 anhand einiger Beispiele von Scheinwerfern für 1000-, 2000- und 10000-W-Halogen-Glühlampen demonstriert wird. Halogenlampen in solchen Flutlichtgeräten haben eine fächer-

förmige Lichtverteilung, weshalb die Lichtpunkte sehr nahe an das Objekt herangebracht werden können.

Eine 24 V, 150-W-Halogenlampe für Dia-Projektion im Vergleich zum konventionellen Typ (Fig. 5), und eine alte und eine neue 220 V, 1000-W-Lampe für die Beleuchtung von Film- und Fernsehstudios zeigen den grossen Unterschied zwischen der alten und der neuen Technik (Fig. 6).

Bei diesen Verwendungsarten der Halogenlampen spielt auch der Herstellungspreis keine so grosse Rolle wie bei den Allgebrauchslampen. Selbstverständlich ist man mit dem Versuch beschäftigt, die Herstellungskosten zu senken und die

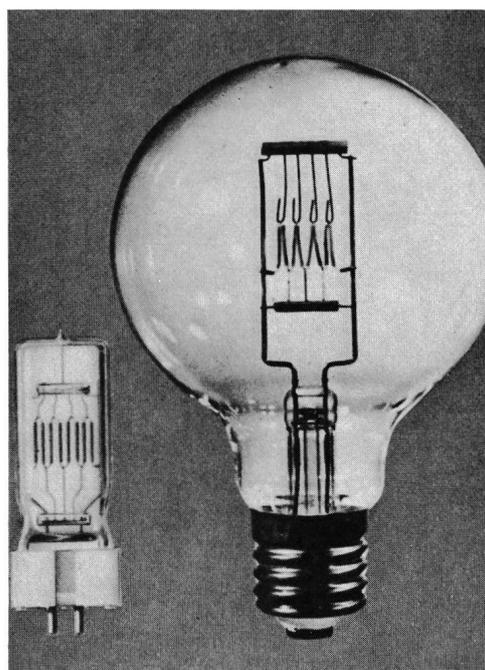


Fig. 6
Grössenvergleich: Lampe 1000 W für Fernseh- und Filmstudio-Halogenlampe zu konventioneller Glühlampe

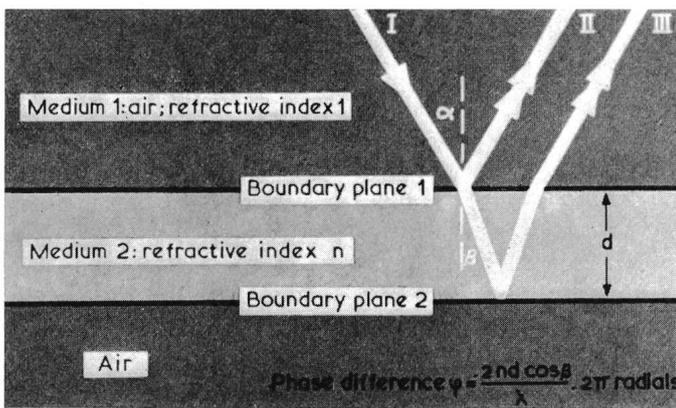


Fig. 7

Interferenz eines weissen Lichtstrahls auf beiden Oberflächen eines sehr dünnen transparenten Belages

neue Technik mehr und mehr auch auf andere Lampentypen auszudehnen. Es ist absolut denkbar, dass in vielleicht 10 Jahren die meisten Glühlampen als Halogenlampen ausgeführt sind.

3. Glühlampen mit Kaltlichtspiegel

Schliesslich soll noch von einer anderen neuen Technik die Rede sein, welche auf dem Glühlampen-Sektor sehr rasch an Boden gewinnt: es ist die Kaltlicht-Spiegel-Technik. Leider kann im Rahmen dieser Arbeit nicht näher auf die Theorie eingetreten werden. Sicher ist aber das schöne Farbenspiel auf einer Seifenblase oder auf einem Ölfleck auf einer Wasseroberfläche bekannt. Dieses Farbenspiel entsteht durch Interferenz eines weissen Lichtstrahles, welcher auf den beiden Oberflächen eines sehr dünnen, transparenten Belags reflektiert wird. Fig. 7 zeigt eine solche Schicht. Da der an der unteren Grenzfläche zurückgeworfene Lichtstrahl III einen längeren Weg zurückgelegt hat, als der an der oberen Grenzfläche reflektierte Strahl II, ist zwischen diesen beiden Wellen eine Phasendifferenz entstanden. Entspricht diese einer ganzen Anzahl Wellenlängen, so verstärken die Wellenbewegungen II und III sich gegenseitig, wodurch die Intensität des reflektierten Lichtes verstärkt wird; falls die Phasendifferenz einer ungeraden Zahl von Halbwellenlängen entspricht, so wirken die Wellenbewegungen II und III einander entgegen, wodurch die Intensität des reflektierten Lichtes verringert oder sogar Null wird.

Ob Strahlung an der Schicht maximal reflektiert, d. h. minimal durchgelassen, oder minimal reflektiert, d. h. maximal durchgelassen wird, ist wellenlängenabhängig. Fällt also Strahlung eines gewissen Spektralbereiches auf die Schicht ein, so findet eine Trennung der Strahlung in einen reflektierten und in einen durchgelassenen Teil statt.

Auf diesem Prinzip der Trennung von Strahlung durch Interferenz beruht die Kaltlicht-Spiegel-Technik.

Werden auf dem Glaskolben einer Glühlampe Systeme von mehreren Schichten gewisser Schichtdicken mit abwechselnd grossem und kleinem Brechungsindex übereinandergestapelt, so kann erreicht werden, dass von der vom Glühfaden herrührenden Strahlung der sichtbare Teil an den Schichten reflektiert, und die Infrarotstrahlung durch die Schichten hindurchgelassen wird. Diese Trennung zwischen Licht und Wärmestrahlung ist für verschiedene Anwendungsgebiete der Glühlampe von grösster Bedeutung. In der Film-

projektion z. B. kann die von der Glühlampe im Projektor herrührende Wärme unzulässig hohe Temperaturen im Bildfenster hervorrufen, was spezielle und meist teure konstruktive Massnahmen erforderlich macht — wie z. B. die Anwendung von Wärmefiltern zwischen Lichtquelle und Bildfenster usw. Mit der Lampe in Fig. 8 mit einem Kaltlichtspiegel sind derartige Probleme weitgehend, wenn nicht völlig beseitigt, da das ausgestrahlte Licht ca. 80 % weniger Wärme aufweist. (Die Herstellung der Schichten kann in einer Vakuumglocke stattfinden. Hierbei werden die zwei aufzubringenden Stoffe mit hohem und niedrigem Brechungsindex abwechselnd durch Erhitzen im Vakuum in Dampf-Form gebracht und aus der Gasphase direkt in den festen Zustand auf dem rotierenden Glaskolben niedergeschlagen.) Die Schichtdicke auf dem Glaskolben kann bestimmt werden durch Vergleich mit einer Glasplatte, die gleichzeitig dem Aufdampfprozess unterworfen ist, und deren Schichtdicke mit Hilfe einer Lampe und Photozelle gemessen werden kann.

Selbstverständlich wird auch an der Weiterentwicklung der Technik im Sektor der normalen Glühlampen gearbeitet. Diese ist aber im wesentlichen auf die Fertigungsmethoden ausgerichtet. Vor allem die Standardlampe ist ein typischer Massenartikel, ein Massenartikel, den man versucht noch besser und billiger herzustellen. Dabei gewinnt die Automation immer mehr an Bedeutung.

Die Glühlampe findet in neuesten Installationen immer wieder neue Anwendungsmöglichkeiten, vor allem für dekorative Zwecke ist sie ein lebendiges, attraktives Gestaltungsmittel, dem die Phantasie kaum irgendwelche Grenzen setzt (Fig. 9).

4. Fluoreszenzlampen

Es ist vielleicht nützlich, sich den Entladungsvorgang wieder einmal in Erinnerung zu rufen. In Fig. 10 ist das Prinzip-Schema einer Fluoreszenzlampe zu sehen, verbunden mit der meist gebräuchlichen Betriebsart, nämlich einer Drosselspule mit einem Glimmstarter. Legt man eine Spannung an die Netzklemmen, so liegt diese zunächst an den offenen Kontakten des Starters, welcher als Bimetallschalter ausgebildet ist. Durch die zwischen den Kontakten entstehende Glimmentladung erwärmt sich der Bimetallstreifen,

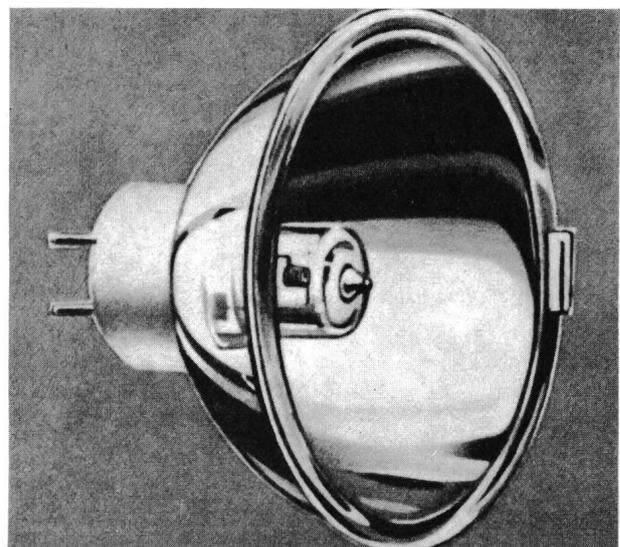


Fig. 8
Lampe mit Kaltlichtspiegel

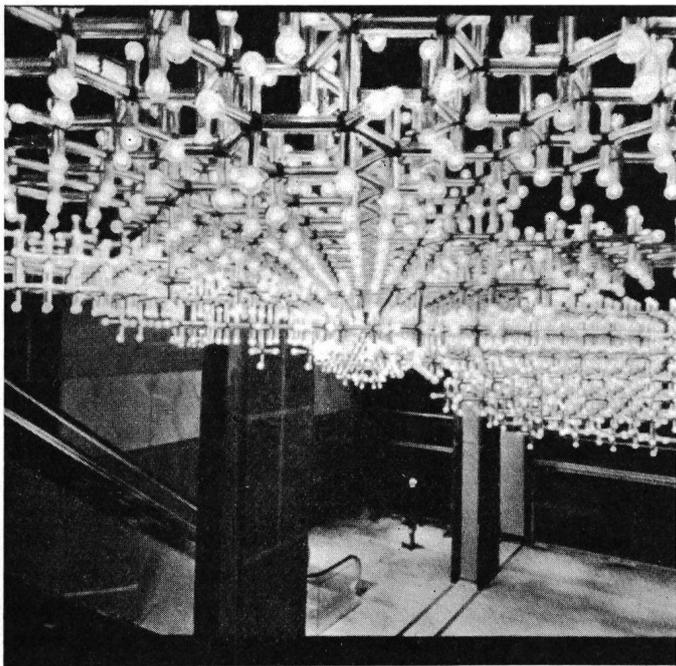


Fig. 9

Eingangshalle des Verwaltungsgebäudes von Philips in Brüssel mit dekorativer Lichtskulptur mit einigen Tausend 15-W-Glühlampen

verformt sich und schliesst nach kurzer Zeit den Schalter. Der Stromkreis ist nun geschlossen, und ein kräftiger Strom heizt die Elektroden auf, welche damit zur Emission von Elektronen angeregt werden. Bei geschlossenen Glimmstarterkontakten kühlt sich der Bimetallstreifen ab und nimmt seine ursprüngliche Form an, d.h. der Kontakt wird geöffnet. Dadurch entsteht eine Stromänderung, welche in der vorgeschalteten Drosselspule eine Induktionsspannung verursacht, genügend gross um die Entladung im Rohr einzuleiten. Die emittierten Elektronen nehmen unter dem Einfluss des Spannungsfeldes im Entladungrohr ihren Weg zur gegenüberliegenden Elektrode auf. Dabei stossen sie mit Elektronen von Quecksilberatomen zusammen, die in festen Bahnen um ihre Atomkerne kreisen. Beim Zusammenstoss wird das getroffene Elektron des Quecksilbers aus einer Bahn geworfen und umkreist den Atomkern in mehr oder weniger grösserem Abstand. Da jedoch die Bindung an den Kern meistens stärker ist, schwingt das Elektron in seine ursprüngliche Bahn zurück. Dabei wird die beim Zusammenprall aufgenommene Energie in Form einer elektromagnetischen Strahlung abgegeben. Diese Strahlung ist unsichtbar, denn sie liegt im ultravioletten Bereich, zur Hauptsache auf der Resonanzlinie des Quecksilberatoms bei 253,7 nm und in einem viel kleineren Masse auch bei 185,0 nm. Daneben enthält die Quecksilberstrahlung noch einen geringen Anteil sichtbaren Lichtes, der einen schwachen bläulichen Lichteindruck vermittelt. An der Wandung des Entladungrohres stösst die unsichtbare UV-Strahlung auf den Leuchtstoff, der sie mit einem mehr oder weniger hohen Wirkungsgrad in sichtbares Licht verwandelt. (Fig. 10 unten). Von der chemischen Zusammensetzung dieses Leuchtstoffes hängt in hohem Masse der Wirkungsgrad der Lichterzeugung und auch die Lichtfarbe ab.

Eine wichtige Voraussetzung für die Erzeugung einer Resonanzstrahlung in dieser Quecksilber-Entladung mit einem optimalen Wirkungsgrad sind ein geringer Quecksilber-Dampfdruck und eine niedrige Stromdichte. Dieser Dampfdruck

liegt in der Grössenordnung von $5 \cdot 10^{-3}$ mm und wird bei einer Wandtemperatur von 40 °C erreicht. Wenn der Quecksilber-Dampfdruck zu klein ist, dann werden zu wenig Atome angeregt, und ist er zu hoch, wird der Verlust an Resonanzstrahlung durch Selbstabsorption zu gross.

Die Bedingungen einer tiefen Umgebungstemperatur (25 °C) und einer niedrigen Stromdichte, und auch der Wunsch nach einer hohen Lampenspannung, um die Elektrodenverluste in bezug auf die Gesamtleistung gering zu halten, führen zur Konstruktion eines langen Entladungrohres mit relativ grossem Querschnitt, wobei die Vergrösserung des Röhrendurchmessers in einem gegebenen Moment zu einer erhöhten Selbstabsorption und dadurch wieder zu grösseren Verlusten führen kann, während die Lampenlänge mit Rücksicht auf die Zündspannung einerseits und die Elektrodenverluste andererseits nach oben und nach unten begrenzt ist.

Damit sind die physikalischen Zusammenhänge definiert, und die Bedingungen festgelegt, nach welchen die verschiedenen Parameter gewählt werden sollen.

Bei der Wahl der Lampenlänge und des Lampendurchmessers muss also der Einfluss auf die Lampenspannung, den Lampenstrom, die Lampenleistung, die Zündspannung und die Lichtausbeute berücksichtigt werden. Mehrere dieser Forderungen sind in bezug auf das angestrebte Ziel, eine in allen Beziehungen möglichst optimale Lichtquelle zu erhalten, einander gegenläufig, d.h. die Konstruktionsdaten einer Fluoreszenzlampe sind überbestimmt. Es ist daher nötig, nach den bestmöglichen Kompromissen zu suchen. Es wurde Wert darauf gelegt, diese ausserordentlich komplizierten Zusammenhänge wieder einmal in Erinnerung zu rufen, um das Verständnis dafür zu wecken, dass man an Fluoreszenzlampen nicht beliebig Daten ändern kann. Dies gilt sowohl für die Konstruktion wie für den Betrieb.

5. Einfluss des Dampfdruckes auf den Wirkungsgrad

Mit den erhöhten Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsplätzen stieg auch der Wunsch nach Fluoreszenzlampen mit höheren Lichtströmen. Das führte zu den sog. Hochleistungslampen, bei denen z. B. das Entladungrohr einer 40-W-Lampe mit 100 W, und dasjenige einer 65-W-

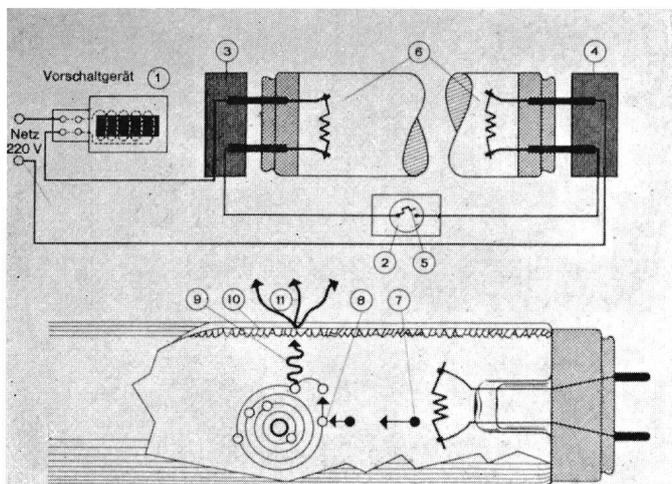


Fig. 10

Prinzipschema einer Fluoreszenzlampe mit Drosselspule und Glimmstarter und schematische Darstellung des Entladungsvorganges

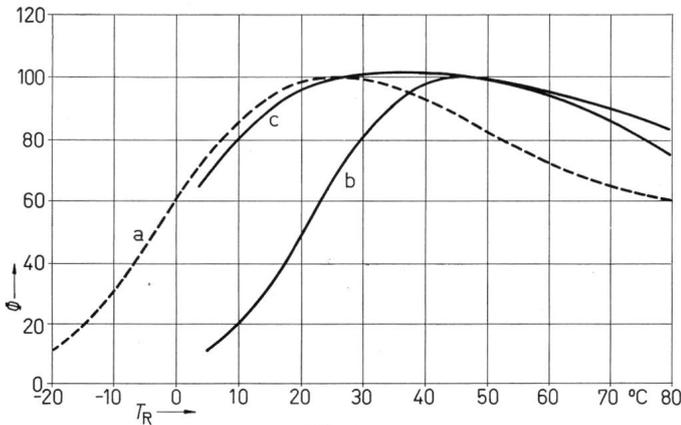


Fig. 11

Lichtstrom von Fluoreszenzlampen 40 W mit und ohne Amalgam, gemessen in ruhender Luft

a ohne Amalgam; b mit Amalgam; c Neuentwicklung; T_R Raumtemperatur (Umgebungstemperatur); Φ Lichtstrom (lm)

Lampe mit 120 W belastet wird. Infolge der höheren Stromdichte und des grösseren Leistungsumsatzes steigen die Wandtemperatur, und damit auch der Dampfdruck über ihre optimalen Werte. Um diesen Dampfdruck wiederum zu reduzieren, werden verschiedene Massnahmen ergriffen, wie beispielsweise absichtliches Schaffen von Lampenstellen mit tieferer Temperatur, an welchen sich Kondensationsflächen bilden, mit dem Zweck, den Quecksilber-Dampfdruck zu reduzieren. Dieses Ziel wurde mit verschiedenen Ausführungsformen erreicht, wie z. B. die VHO-Lampen, die Power-Twist-Lampen, die Power-Groove-Lampen und die Lampen mit einem oder mehreren Kühlzapfen.

Eine weitere Möglichkeit den Dampfdruck zu reduzieren ist, das Quecksilber durch Amalgam zu ersetzen, da der Quecksilber-Dampfdruck bei Quecksilber-Amalgam bei gleicher Temperatur geringer ist als bei Verwendung reinen Quecksilbers. Es ist deshalb möglich, eine solche Lampe bei gleichbleibendem Wirkungsgrad entweder mit höherer Leistung zu belasten, oder auch als Folge der betriebsmässigen Umgebungsbedingungen, eine höhere Wandtemperatur zuzulassen. Die Verschiebung der Lichtstrom-Charakteristik in Abhängigkeit der Temperatur ist aus Fig. 11 ersichtlich. Kurve *a* zeigt den Verlauf des Lichtstromes ohne Amalgam und *b* den Lichtstrom mit Amalgam. Wie diesen Kurven entnommen werden kann, liegt das Maximum des Lichtstromes bei einer Lampe ohne Amalgam bei ca. 25 °C Umgebungstemperatur. Bei 0 °C beträgt der Lichtstrom nur noch 60 % des Nennlichtstromes, weshalb Fluoreszenzlampen im Freien oder in kühlen Räumen nur in geschlossenen Leuchten verwendet werden sollen, während in Räumen mit normaler Raumtemperatur im Gegenteil für eine gute Kühlung durch genügend Lüftung gesorgt werden muss. Leider werden aber zur Zeit, einer modisch architektonischen Tendenz folgend, in grösserem Mass vollständig geschlossene Leuchten verwendet, in denen oft Umgebungstemperaturen von 50...70 °C und mehr vorherrschen. Aus Kurve *a* ist ersichtlich, dass bei diesen Umgebungsbedingungen der Lichtstrom auf 70...80 % des Nennwertes sinkt. Bei Verwendung von Amalgam-Lampen kann dieser Verlust ganz oder teilweise verhindert werden, weil dort das Maximum des Lichtstromes bei ca. 50 °C liegt (Kurve *b*).

So eindrucksvoll diese technische Lösung sein mag, vom Standpunkt der Rationalisierung, der Normierung und der Lagerhaltung ist sie weit weniger interessant, müsste man

doch alle Lampentypen in verschiedenen Grössen, Leistungen und Lichtfarben in normalen und in Amalgam-Ausführung herstellen, denn wie der Kurve *b* ebenfalls entnommen werden kann, gibt die heutige Amalgam-Lampe bei normalen Temperaturverhältnissen, d. h. bei 20 °C nur 50 % des Nennlichtstromes ab. Es wird deshalb zur Zeit an einer neuen Lampe mit Indium-Amalgam gearbeitet, die über einen viel breiteren Temperaturbereich einen fast konstanten Lichtstrom aufweist (Kurve *c*).

Eine weitere Möglichkeit die Lichtstromleistung auf einen möglichst breiten Temperatur-Bereich konstant zu halten, liegt in der Wahl der Arbeitstemperatur des Amalgams. Wenn dieses auf der Röhrenwand angebracht wird, erreicht es eine Temperatur von ca. 40 °C, wird es aber z. B. auf der Quetsche des Elektrodenträgers angebracht, erhält es ca. 90 °C, womit die Lichtstromkurve eine weitere Verflachung erfährt, und sich etwa 90 % des erzeugten Lichtstromes zwischen 10...60 °C befinden. Es ist nicht ausgeschlossen, dass sich zukünftig ein internationales Normungsgremium mit dieser Angelegenheit beschäftigt.

Ebenso zweckmässig wäre aber die Verwendung richtig konstruierter Leuchten, denn die Nachteile zu hoher Betriebstemperatur wirken sich nicht nur auf den Lichtstrom aus.

6. Lichtfarbe — Leuchtstoff — Lichtausbeute

Wie bei keiner anderen Lichtquelle ist es möglich, die Lichtfarbe bei Fluoreszenzlampen in weiten Grenzen variieren zu können. Mindestens ein Dutzend verschiedene «Weiss» sind im Handel erhältlich, neben einigen speziellen Ausführungen für photochemische Aufgaben und den bunten Lampen für dekorative Zwecke.

Es gibt Lampen mit einer Farbtemperatur von 2700 °K und einem Farbwiedergabeindex von 94, welche ein sehr ähnliches Spektrum aufweisen wie die Glühlampen, und die sich mit diesen in derselben Anlage auch in einem Wohnraum sehr gut kombinieren lassen. Es ist ganz unbegreiflich, dass es heute trotzdem noch Leute gibt — die es eigentlich besser wissen sollten — welche behaupten, das Licht der Fluoreszenzlampe wirke kalt.

Es gibt aber auch tageslichtähnliche Lichtfarben mit einer Farbtemperatur von mehr als 6500 °K, mit einem Farbwiedergabeindex von 90. Auch dieses Licht wirkt nicht kalt, sofern die Beleuchtungsstärke im Raum genügend hoch ist, z. B. grösser als 1000 lx. Sehr oft werden diese Lampen aber auch für die Abmusterung von Farben verwendet.

Die Fluoreszenzlampen für allgemeine Beleuchtungszwecke lassen sich in bezug auf ihre Lichtfarbe in 3 Hauptgruppen unterteilen, nämlich warm-weiss, weiss und Tageslicht. Jede dieser Gruppen besitzt noch einige Varianten, deren Farbwiedergabeeigenschaften gegenüber den Grundtypen wesentlich besser sind, das sind die sogenannten «de Luxe»-Farben.

Leider lassen sich gute Lichtfarben und maximale Lichtausbeute nicht gleichzeitig in derselben Lampe vereinigen, die beiden Parameter wirken einander entgegen. Man wird also je nach der Verwendung zwischen einer Lampe mit einem hohen Wirkungsgrad und einer solchen mit guten Farbwiedergabeeigenschaften wählen müssen. Währenddem die Lichtausbeute der Grundtypen von der Leuchtstoffseite her betrachtet aus technisch-physikalischen Gründen kaum mehr stark verbessert werden kann, die Quantenausbeute beträgt

bereits 85 %, versucht man jetzt, die hohe Differenz zwischen den Grundfarben und den «de Luxe»-Ausführungen zu verringern.

Eine der grössten Schwierigkeiten, welcher wir in der Praxis begegnen, ist die falsche Anwendung der Lichtfarben. Bezeichnend ist die Tatsache, dass in der Schweiz die Farbe weiss, die zwar eine relativ gute Lichtausbeute aber dafür weniger gute Farbwiedergabe-Eigenschaften besitzt, zu 75 % angewendet wird und damit gegenüber anderen Ländern mit Abstand die nicht gerade rühmliche Spitze hält. In Skandinavien z.B. werden 50...60 % «de Luxe»-Farben verwendet, währenddem der betreffende Anteil in der Schweiz ca. 15 % beträgt. Es können für die Entscheidung, ob die eine oder andere Lichtfarbe angewendet werden soll, nicht nur wirtschaftliche Überlegungen ausschlaggebend sein, die lediglich auf die mehr oder weniger grosse Lichtausbeute abstellen. Das Raumklima, in dem sich die Menschen aufhalten müssen, hängt u.a. auch von den Umweltsbedingungen ab, die nachgewiesenermassen einen nachhaltigen Einfluss auf das Wohlbefinden und damit die Arbeitsleistung haben können. Deshalb legen die meisten Bauherren in bezug auf die Gestaltung der Innenräume und deren Ausstattung den grössten Wert und sind bereit, für Komfort und Behaglichkeit nicht unerhebliche Gelder zu investieren. Es ist einfach unbegreiflich, dass beim Licht, welches massgeblich an der Schaffung angenehmer Umweltsbedingungen beteiligt ist, auch in dieser Beziehung gespart werden muss. Es soll damit weder den Bauherren noch den Architekten ein Vorwurf gemacht werden, denn die Hauptschuld an diesem unerfreulichen Zustand liegt vermutlich in der ungenügenden Information der Verbraucher.

7. Lebensdauer — Lichtstromabnahme

Obwohl die Elektroden in den letzten Jahren stark verbessert wurden, ist die mittlere Lebensdauer der Fluoreszenzlampen nach wie vor von der Anzahl Schaltungen abhängig. Als allgemeine Richtlinie kann für die 40- und die 65-W-Lampen gelten: Wenn bei 3 Brennstunden pro Schaltung die Lebensdauer = 100 % gesetzt wird,

ist diese bei 12 Brennstunden pro Schaltung = 140 % und
bei Dauerbetrieb = 200 % und mehr.

Hochleistungslampen haben im allgemeinen eine wesentlich kürzere Lebensdauer als die Standardlampen.

Unter normalen Betriebsbedingungen, zusammen mit einem induktiven Gerät, darf angenommen werden, dass z. B. in einer Anlage mit 40- oder 65-W-Lampen keine der Lampen unter 5000 Brennstunden ausfällt, und die mittlere Lebensdauer bei einer Mortalität von 50 % weit über 10000 h liegt.

Die Lichtstromabnahme beträgt für die 40- und 65-W-Lampen der Farbe weiss nach 7500 Brennstunden ca. 10...15 %, für Hochleistungslampen ca. 30...35 % nach 5000 Brennstunden. Für «de Luxe»-Farben ist der Lichtstromabfall etwas grösser als für die Standardfarben, da die hierfür verwendeten Leuchtstoffkomponenten diesbezüglich empfindlicher sind. Es wird in den Laboratorien zur Zeit daran gearbeitet, diesen Abfall zu verbessern und demjenigen der Standardlampen anzugleichen.

8. Abmessungen

Wie bekannt ist, basieren alle Lampenlängen auf der englischen Mass-Einheit. Im Bausektor sind seit einiger Zeit

Normungsbestrebungen im Gange, um sich international auf den Modul $M = 10$ cm, wobei der Grossmodul 30 bzw. 60 cm betragen soll, zu einigen. Mit Rücksicht darauf und im Zusammenhang mit den Deckenkonstruktionen kann es sein, dass die Länge der Fluoreszenzlampen auf diesen Modul angepasst werden muss.

Ebenfalls prüft man gegenwärtig eine Verringerung des Röhrendurchmessers von 38 auf 32 mm, da bei der heutigen Technik beim geringeren Durchmesser ein noch etwas grösserer Wirkungsgrad möglich wäre.

9. Fertigung

Ebenso wie die Glühlampe ist auch die Fluoreszenzlampe, wenn auch stückzahlmässig bei weitem nicht vergleichbar, zu einem Massenprodukt geworden. Es verwundert deshalb kaum, dass neben der Ausschöpfung aller wissenschaftlichen und technischen Möglichkeiten zur weiteren Verbesserung der physikalischen Eigenschaften dieser Lichtquelle ganz besonders auch der Fertigung grösste Aufmerksamkeit geschenkt wird. Die Fluoreszenzlampen werden heute auf langen Fabrikationsstrassen hergestellt, wobei in den Fabrikationsgang vielfache Zwischenprüfungen eingeschaltet sind, um schliesslich ein qualitativ hochstehendes Endprodukt zu erhalten.

Am Anfang einer solchen Fabrikationsstrasse steht normalerweise ein Schmelzofen, aus dem Tag und Nacht ununterbrochen ein automatisch geblasenes Rohr mit dem erforderlichen Durchmesser fliesst, das nach ca. 100 m, wenn es genügend abgekühlt ist, auf die gewünschten Längen abgeschnitten wird.

Abschliessend soll nochmals auf die eingangs erwähnte Lampenübersicht, nämlich auf den Fluoreszenzlampensektor, hingewiesen werden. Neben der Gruppe der Standardlampen, zu denen die Typen von 14...85 W zählen, gibt es noch eine Gruppe der Kleinstfluoreszenzlampen mit den Leistungen von 4...13 W. Sie haben einen Rohrdurchmesser von nur 16 mm.

Ein Teil der Standardlampen wird mit einem Innenreflektor versehen, das sind die sog. Reflektor-Fluoreszenzlampen, welche vor allem in Räumen mit starker Luftverschmutzung angewendet werden.

Eine weitere Gruppe bilden die Hochleistungslampen. Sie sind seinerzeit von Amerika nach Europa gekommen und werden im Verhältnis zu den übrigen Lampen ungefähr zu einem Prozent installiert.

Dann gibt es noch eine Gruppe der langen Fluoreszenzlampen, die in Europa, mit Ausnahme vielleicht von England kaum Bedeutung erlangt haben.

Für dekorative Zwecke wurden die kreisrunden Circline-Lampen, die W- und die U-förmigen Lampen gebaut. Letztere werden gelegentlich auch in den Leuchten mit beschränkten Abmessungen verwendet, damit diese nicht mit 20-W-Lampen bestückt werden müssen.

Der Vollständigkeit halber sind noch 2 weitere Gruppen von Quecksilber-Niederdruck-Entladungsröhren zu erwähnen, die blau-aktinischen Lampen für photochemische Zwecke, die Schwarzlicht-Lampen, welche zur Anregung von Fluoreszenzstoffen dienen, und die Hochspannungsfluoreszenzlampen, welche in einem anderen Referat behandelt werden.

Adresse des Autors:

H. Kessler, Ing. SIA, Philips AG, Postfach, 8027 Zürich.