Die neuzeitliche Metalldampflampe vom Standpunkt des Lichtverbrauches aus betrachtet

Autor(en): **Diggelmann, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri**

Band (Jahr): **19 (1941)**

Heft 3

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-873326

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ALOYS REDING

BERN, 1. VI. 1941 № 3 JAHRGANG - ANNÉE - ANNO XIX

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON DER SCHWEIZ. TELEGRAPHEN- UND TELEPHON-VERWALTUNG

BULLETIN TECHNIQUE

PUBLIÉ PAR L'ADMINISTRATION DES TÉLÉGRAPHES ET DES TÉLÉPHONES SUISSES

BOLLETTINO TECNICO

PUBBLICATO DALL'AMMINISTRAZIONE DEI TELEGRAFI E DEI TELEFONI SVIZZERI

PTT

Inhalt — Sommaire — Sommario: Die neuzeitlichen Metalldampflampen vom Standpunkt des Lichtverbrauchers aus betrachtet. — Empfangsantennen. Antennes de réception. — Ein neuer Selengleichrichter zur Speisung der Verstärkerämter. Nouveau type de redresseur à sélénium pour l'alimentation des stations de répéteurs. — Vorläufer des Drahtrundspruchs. — Propos sur la réorganisation de la bibliothèque de l'administration des télégraphes et des téléphones. — Verschiedenes. Divers: Verdiente Ehrung. — Flawil, Automatenlokal. — La marine marchande suisse. — 650e anniversaire de la Confédération. — Il telegrafo 100 anni fa. — Soldatenecke. Le coin du soldat. Il cantuccio del soldato: Aus dem Tagebuch eines Feldtelegraphenoffiziers. — Die Turnvorstellung. — Fachliteratur. Littérature professionnelle: „Neue Untersuchungen aus der Wählertechnik, Ortsverkehr." — „Dörren." — Neuerwerbungen der Bibliothek der Telegraphenverwaltung. Nouvelles acquisitions de la bibliothèque de l'administration des télégraphes. Nuovi acquisti della biblioteca dell'amministrazione dei telegrafi. — Sonderdruck. Tirage à part. Tiratura speciale. — Personalnachrichten. Personnel. Personale.

Die neuzeitlichen Metalldampflampen vom Standpunkt des Lichtverbrauchers aus betrachtet.

Von *E. Diggelmann*, Bern. 621.327.4

Die nachfolgenden Ausführungen wollen dem Leser einen Ueberblick geben über den Stand der Entwicklung der Metalldampflampen, soweit diese der Lichterzeugung dienen. Es werden dabei grundsätzlich zwei Arten unterschieden, nämlich die selbstleuchtenden Metalldampflampen und die sogenannten Leuchtstofflampen, bei denen weniger die Dampfentladung, als vielmehr ein von ihr angeregter Leuchtstoff die Lichtquelle bildet.

1. Teil: Die Metalldampflampen ohne Leuchtstoffe.

Diese gelten heute als die meistverbreiteten stromsparenden Lampen. Sie werden schon seit einigen Jahren für die Beleuchtung öffentlicher Strassen und Plätze verwendet. Wie die in der Lichtreklame benutzten Edelgas-Leuchtröhren (z. B. Neon), so sind auch die *Natrium- und Quecksilberdampflampen* Entladungsröhren. Die Lichtemission entsteht durch den Anprall von Elektronen gegen Atome der Metalldämpfe, wobei die Elektronen ihre Energiemenge an die Atome übertragen. Jedes dieser Atome gelangt durch die Energieaufnahme in einen sogenannten angeregten Zustand, aus dem es sehr rasch wieder in den Grundzustand zurückfällt. Der Vorgang dauert weniger als ein Millionstel einer Sekunde. Dabei strahlt das Atom Licht von ganz bestimmter Wellenlänge aus, das für jedes Metall von bestimmter Farbe ist. Im Gegensatz zu den Edelgasröhren bedürfen die Metalldampflampen keiner Hochspannung. Die Oxydelektroden, die schon bei geringer Spannung Elektronen aussenden, gestatten die direkte Verwendung der Lampen am Normalnetz von 220 V Wechselstrom. Die Widerstandscharakteristik der Metalldampflampen ist negativ. Deshalb muss die Stromstärke, sobald die Lampen gezündet haben, begrenzt werden, ansonst die Elektroden in kürzester Zeit zerstört würden. Man verwendet zu dem Zweck Streutransformatoren oder Drosselspulen. Die Lichtausbeute der Metalldampflampen ist, verglichen mit derjenigen der Wolframdrahtlampe, ganz beträchtlich. Die einseitig gesockelten Metalldampflampen können oft in den üblichen Beleuchtungskörpern verwendet werden, sofern man nicht vorzieht, die Drosselspule ebenfalls in den Beleuchtungskörper einzubauen.

Die *Natriumdampflampen* brennen bei nur etwa 280° C und geben ungefähr 3 bis 3½ mal mehr Licht als Glühlampen gleicher Wattaufnahme. Die Entladung erfolgt in einem Leuchtrohr aus natriumfestem Glas, das von einem Schutzrohr umgeben ist. Im Leuchtrohr befinden sich metallisches Natrium und ein Zusatz von Neongas zur Einleitung des Zündvorganges. Durch das Schliessen des Stromkreises wird die Bogenentladung des Neons eingeleitet. Durch die freiwerdende Wärme wird Natrium verdampft; die anfangs rote Lichtfarbe nimmt einen gelberen Ton an, bis schliesslich — nach etwa 5 Minuten — das Rot des Neons vollkommen verschwindet und nur noch die intensiv gelbe Strahlung des Natriums leuchtet. Dieses Licht ist nahezu einfarbig. Weisse und gelbe Körperfarben lässt es daher gelb, andere sehr stark verändert erscheinen. Durch diese Eigenschaft werden denn auch die Anwendungsmöglichkeiten der Natriumdampflampe wie folgt festgelegt:

a. Gebiete, die durch die hohe Wirtschaftlichkeit dieser Lampen neu erschlossen werden, unter der Voraussetzung, dass die Einfarbigkeit des Lichts

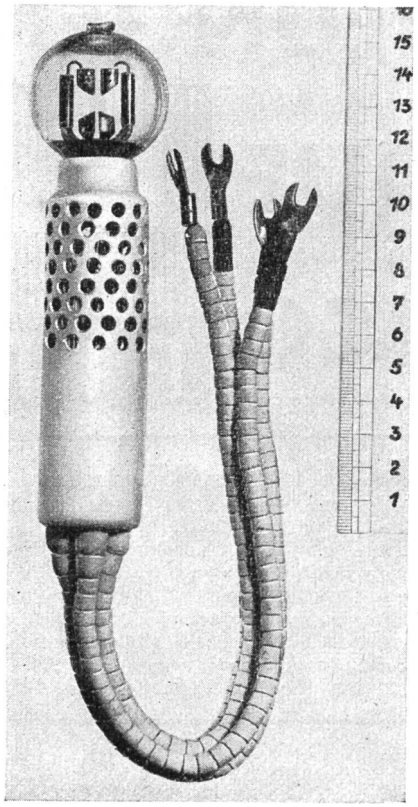


Abb. 1 a.

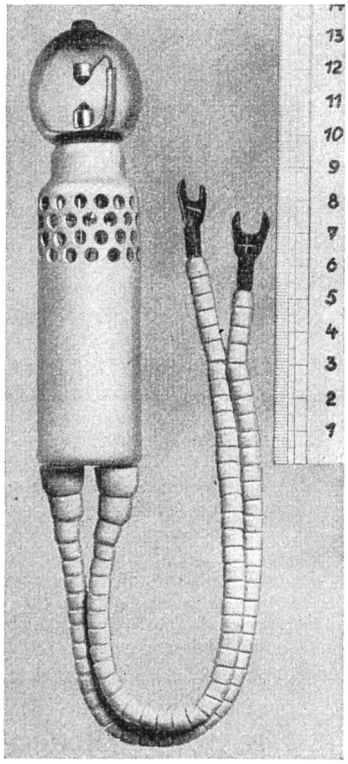


Abb. 1 b.

Abb. 1a und b.

Luftgekühlte Quecksilberdampf-Höchstdrucklampe 1000 bzw. 500 W.

praktisch gar nicht oder nur unbedeutend stört. Solche Anwendungen ergeben sich bei der Beleuchtung von Verkehrsanlagen, wie Auto- und Ueberlandstrassen. Das Licht der Natriumdampflampe soll auch bei dunstigem oder gar nebligem Wetter eine gute Sicht gewährleisten. Die Veränderung der Körperfarben wird vom Automobilisten als bedeutungslos empfunden, da er auch beim Licht seiner Scheinwerfer kaum eine Farbwahrnehmung hat und zur Hauptsache nur Hell- und Dunkelkontraste sieht. Die Natriumdampflampe ist auch für die Beleuchtung im Eisenbahnbetrieb, wie die der Geleisefelder und Verladerampen, besonders geeignet, sofern Wechselstrom mit der Frequenz 50 zur Verfügung steht. Die Verwendung mit Bahnstrom von nur $16^2/_3$ Perioden ist praktisch ausgeschlossen, weil diese geringe Frequenz ein störendes Flimmern zur Folge hat.

b. Eine weitere Anwendung der Natriumdampflampe ergibt sich durch die erst in neuerer Zeit bekanntgewordene Verwendung zusammen mit Glühlampenlicht als Natrium-Mischlicht, wobei eine normale Glühlampe bestimmter elektrischer Eigenschaften an die Stelle der sonst zur Begrenzung des Betriebsstroms erforderlichen Drosselspule tritt. Der Vorteil dieser Anordnung besteht nicht nur im Wegfall der Drosselspule, sondern auch in der Verbesserung des Leistungsfaktors cos φ, der beim Natrium-Mischlicht 0,9 und mehr beträgt. Dieses Licht soll nach den Veröffentlichungen in der Fachliteratur eine Zusammensetzung haben, die erlaubt, Körperfarben gut zu erkennen. Hingegen fällt die Gesamtlichtausbeute bei einem Mischungsverhältnis von ungefähr 1:1,8 (Glühlampen- zu Natriumdampflicht) von etwa 48 auf 25 Lm/W. Sie ist jedoch anderseits immer noch 50% grösser als die Ausbeute lichtstromgleicher Glühlampen. Natrium-Mischlicht wird empfohlen für Werkstätten, in denen die zu verarbeitenden Stoffe von vorwiegend gelblicher Farbe sind, z. B. Messing, Kupfer und Holz.

c. Als drittes Anwendungsgebiet ist die Lichtreklame zu nennen, wo das einfarbige Licht der Natriumdampflampe neue Effekte zu erzielen vermag.

Die heute verwendeten *Quecksilberdampflampen* unterscheiden sich von den in der Lichtreklame verwendeten Neon-Leuchtröhren mit Quecksilber*zusatz* durch den verhältnismässig höheren Dampfdruck von einigen Atmosphären. Sie brennen bei einer Temperatur von 400—500° C und geben 2 bis 2½ mal mehr Licht als Glühlampen gleicher Wattaufnahme. Ein Aufheizen der Elektroden ist auch hier nicht erforderlich. Zur Zündung dient eine kleine Hilfselektrode, die dicht neben einer der Hauptelektroden angeordnet ist. Die erste Zündung erfolgt in Argon. Bald ist aber eine genügende Menge des beigefügten flüssigen Quecksilbers verdampft, so dass die Entladung nach 5 Minuten Einbrennzeit ausschliesslich im Quecksilberdampf stattfindet. Mit der Zunahme des Quecksilberdampfdruckes steigt auch die Zündspannung der Röhre, die im Betriebszustand über der Netzspannung liegt. Wird eine Quecksilberdampflampe ausgeschaltet, so kann sie erst dann wieder zünden, wenn das Rohr abgekühlt ist und die Zündspannung den Wert der Netzspannung wieder erreicht hat. Die Wiederzündzeit ist von gleicher Dauer wie die Anlaufzeit. Diese Eigenschaft ist für alle Hochdruck-Entladungsröhren charakteristisch. Das Licht der Quecksilberdampflampe ist

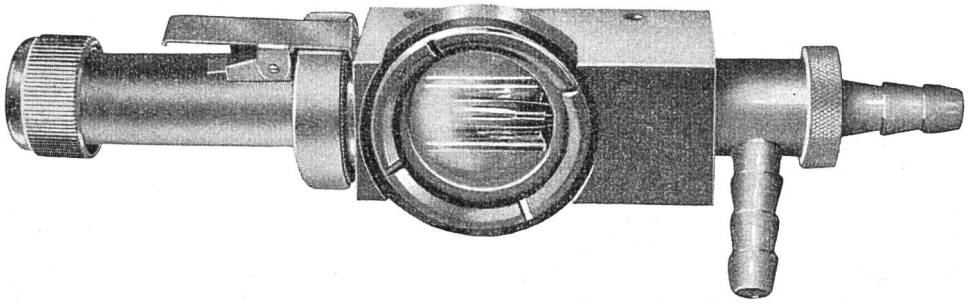


Abb. 2. Wassergekühlte Ueberhochdruck-Quecksilberdampflampe mit 15 000 Lumen nutzbarem Lichtstrom, für Anwendungen im Flugwesen, in der Photographie, für kleine Scheinwerfer. Energiebedarf 560 W einschliesslich Vorschaltgerät.

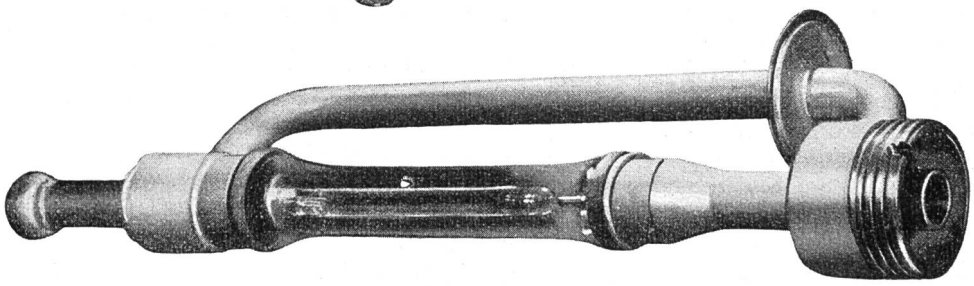


Abb. 3. Wassergekühlte Ueberhochdruck-Quecksilberdampflampe mit einem Lichtstrom von 120 000 Lumen, Energiebedarf 2300 W einschliesslich Vorschaltgerät.

bläulichweiss. Sein Spektrum ist nicht kontinuierlich, wohl aber ziemlich dicht, und reicht vom Ultraviolett bis zum Gelb. Rot fehlt. Die Strahlung im Ultraviolett wird übrigens vom Glaskolben absorbiert, so dass schädliche Wirkungen nicht zu befürchten sind. Bei den *Quecksilberdampf-Leuchtstofflampen*, die im letzten Abschnitt des zweiten Teils eingehender behandelt werden, werden die ultravioletten Strahlen in rote umgewandelt.

Die Quecksilberdampflampen sind in den letzten Jahren in sehr verschiedenen Anlagen praktisch erprobt worden. Während bei der Verkehrsbeleuchtung die Natriumdampflampen hauptsächlich für Ausfall- und Ueberlandstrassen in Frage kommen, eignen sich die Quecksilberdampflampen dank ihrer tageslichtähnlicheren Lichtfarbe vorzüglich zur Beleuchtung bebauter Strassenzüge, besonders solcher mit Baumalleen. Wo sehr strenge Anforderungen an die Lichtfarbe gestellt werden, ist die *Mischlichtlampe**) am Platz, oder aber es kann Glühlampenlicht in eigens dazu konstruierten Mischlicht-Leuchten mit zwei Fassungen hinzugefügt werden. Während bei den Natriumdampflampen die Leistung der Lichtquellen auf verhältnismässig geringe Werte beschränkt bleibt, werden Quecksilberdampflampen auch für grössere Leistungen hergestellt. Sie kommen unter anderem für die Beleuchtung grosser Fabrikhallen, Lagerräume, Höfe usw. und als Ueberhochdrucklampen für die Beleuchtung von Flugplätzen und dergleichen in Frage. Zur Beleuchtung von Arbeits- und Aufenthaltsräumen, wo eine gute, getreue Wiedergabe der Farben erforderlich ist, soll eine dem Tageslicht ähnliche Mischung gewählt werden. Nach den Befürwortern der Dampflampe ist dies dann der Fall, wenn das Mischungsverhältnis der Lichtströme 1:1 beträgt. Die Lichtausbeute dieses angenäherten Tageslichts beträgt etwa 25 Lm/W gegenüber nur 8 Lm/W bei den sogenannten Tageslicht-Glühlampen mit Kolben aus blauem Filterglas.

*) Quecksilberdampflampe mit Glühwendel als Vorschaltwiderstand im selben Glaskolben kombiniert (vergl. Abb. 7d).

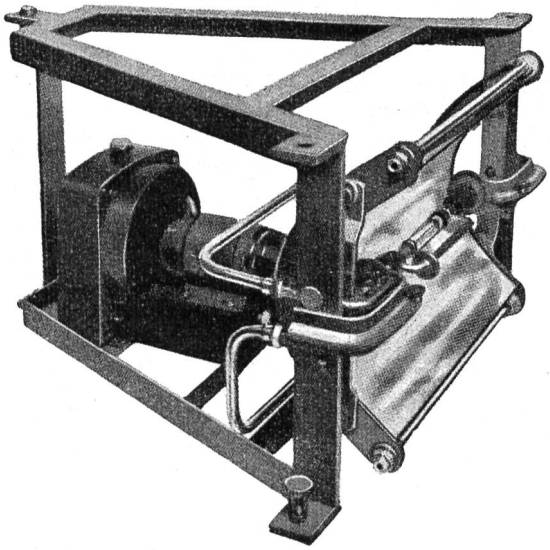


Abb. 4. Praktische Anwendung der in Abb. 3 dargestellten Ueberhochdruck-Quecksilberdampflampe in einem Landebahnscheinwerfer mit angebautem Kühlaggregat.

In modernen Industriebauten, besonders in grossen Hallen und Werkstätten, werden die Fensterflächen reichlicher dimensioniert als in früheren Jahren. Dadurch wird zwar die Tageslichtbeleuchtung verbessert, doch erhöht sich gleichzeitig der schädliche Einfluss des Zwielichts in den Dämmerstunden. Die verschiedenartige Farbe und Richtung des Zwielichts führt zu Ermüdungserscheinungen und damit zur Verminderung der Arbeitsleistung. Das tageslichtähnliche Mischlicht scheint denn auch in den Arbeitsräumen der Industrie bisher am häufigsten verwendet worden zu sein.

Bei der *Wohnungsbeleuchtung*, dem umfangreichsten Gebiet, ist die Quecksilberdampflampe in ihrer heute erreichten Entwicklungsstufe aus verschiedenen Gründen *nicht* verwendbar. Selbst der kleinste heute bekannte Typ, eine speziell für den Bergbau entwickelte Lampe zu 150 Dlm, liefert, mit Glühlicht zu gleichen Teilen gemischt, einen Lichtstrom von 300 Dlm, während bei der Wohnungsbeleuchtung Lichtleistungen pro Lichtquelle von 25 bis etwa 150, höchstenfalls 200 Dlm üblich sind. Bei der Wohnungsbeleuchtung wird ferner eine getreue Wiedergabe der Körperfarben verlangt. Das bläulich-

weisse Quecksilberdampflicht, das uns an die Auer-Gasbeleuchtung erinnert, ist dazu nicht besonders geeignet; es wirkt in der Heimbeleuchtung eher kalt. Auch die Anbrennzeit von 5 Minuten, vom Moment des Einschaltens bis zur Ausstrahlung des vollen Lichtstroms gerechnet, und die Abkühlungszeit von ebensovielen Minuten, die nach jeder Ausschaltung abgewartet werden muss, wenn die Lampe von neuem zünden soll, sind beides Umstände, die sich besonders bei der Beleuchtung kleiner Räume, sowie bei arbeitsplatzgebundener Raumbeleuchtung sehr nachteilig auswirken.

Sieht man von den Anwendungen ab, für die ausschliesslich Entladungslampen *oder* Glühlampen in Betracht kommen, weil die Wirkung mit der einen oder anderen Art wesentlich besser ist, so verbleiben schliesslich noch die Gebiete, die hinsichtlich der Beleuchtungswirkung mit beiden Lichtquellen ungefähr gleich gut gelöst werden können, und bei denen die Wirtschaftlichkeit der Glüh- und der Metalldampflampen (eventuell mit Glühlicht gemischt) allein entscheidet. Derartige Gegenüberstellungen stützen sich in der Regel auf folgende Annahmen:

1. Für beide Lichtarten wird auf die gleiche Beleuchtungsart und die gleiche Beleuchtungsstärke abgestellt, so dass die Anordnung der Lichtquellen und deren Leuchtstärke in beiden Fällen die gleiche ist. *Eine solche Gegenüberstellung ist jedoch nur möglich für Anlagen mit reiner Allgemeinbeleuchtung ohne zusätzliche Arbeitsplatzbeleuchtung, während diese und die ebenfalls weit verbreitete arbeitsplatzgebundene Raumbeleuchtung für den Vergleich zum voraus ausscheiden.*

2. Da die Stromstärke der Entladungslampen in derselben Grössenordnung liegt wie die der lichtstromähnlichen Glühlampen, wird auch mit demselben Leitungsquerschnitt gerechnet, so dass die Leitungsinstallation in den für die Gegenüberstellung in Frage kommenden Fällen als gleichartig angenommen werden kann.

3. Im Gegensatz zu den Glühlampen weist der Betrieb mit Metalldampflampen eine Phasenverschiebung auf; diese ist je nach den Bestimmungen der einzelnen Elektrizitätswerke bis zu einem bestimmten Mindestwert (z. B. 0,8) zu kompensieren, oder dann muss die infolge des schlechteren Leistungsfaktors bezogene Blindenergie dem Werk bezahlt werden. Zur Kompensation des Leistungsfaktors werden gelegentlich Kondensatoren an zentraler Stelle des Lichtverteilnetzes des Verbrauchers verwendet; besser jedoch ist es, wenn Kondensator und Drosselspule mit der Lichtarmatur vereinigt werden.

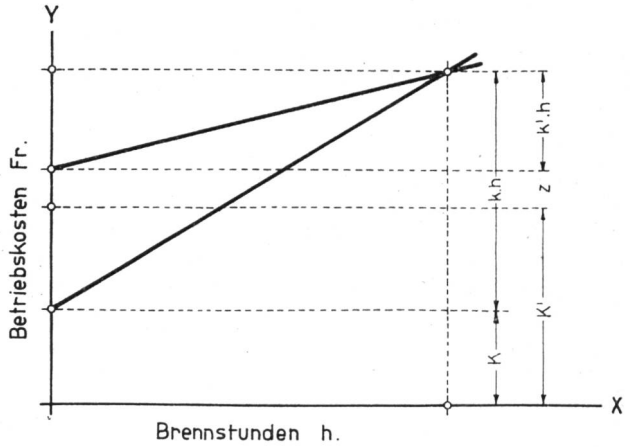


Abb. 5. Zusammensetzung der Betriebskosten aus festen Kosten und aus von der Brennzeit abhängigen Kosten.

4. Die Ausgaben für das Auswechseln ausgebrannter Lichtquellen können einen mehr oder weniger grossen Einfluss auf die Betriebskosten ausüben. Bei der Verkehrsbeleuchtung, wo die Lichtquellen meist schwer zugänglich sind, rechnet man mit einem durchschnittlichen Aufwand von Fr. 5.— pro Leuchte. Bei der Innenbeleuchtung sind diese Kosten naturgemäss geringer und können unter Umständen vernachlässigt werden.

Die in Abb. 5 dargestellte Zusammensetzung der Betriebskosten aus festen Kosten und aus von der Brennzeit abhängigen Kosten stellt den Sonderfall dar, bei welchem sowohl mit Glühlampenlicht als auch mit Metalldampflicht die Betriebskosten gleich hoch sind. Es ist dann:

$$K + k \cdot h = K' + z + k' \cdot h \qquad (1)$$

Dabei bedeutet:

K = jährliche Tilgungskosten der Glühlichtinstallation,
K' = jährliche Tilgungskosten der Dampflichtinstallation,
z = Tarifzuschlag für Metalldampflampen pro Lampe und Jahr,
k = Strom-, Glühkörper- und Auswechslungskosten pro Brennstunde.
k' = Strom-, Dampflampen- und Auswechslungskosten pro Brennstunde,
h = Brennstundenzahl pro Jahr.

Die von der Brennzeit abhängigen Kosten setzen sich wie folgt zusammen:

$$k = \frac{w}{1000} \cdot \frac{y}{100} + \frac{l + a}{H}$$

$$\text{bzw. } k' = \frac{w'}{1000} \cdot \frac{y}{100} + \frac{l' + a'}{H'}$$

Es bedeutet dabei

y = Strompreis in Rp./kWh,
w = Leistungsaufnahme der Glühlampe in Watt,
w' = Leistungsaufnahme der Dampflampe in Watt,
l = Lampenpreis (Glühlampe),
l' = Lampenpreis (Metalldampflampe),
a = a' = Auswechslungskosten,
H = mittlere Lebensdauer der Glühlampen,
H' = mittlere Lebensdauer der Dampflampen,

In die Gleichung 1) eingesetzt, erhält man:

$$K + h \cdot \left(\frac{w}{1000} \cdot \frac{y}{100} + \frac{l + a}{H} \right) = K' + z + h \left(\frac{w'}{1000} \cdot \frac{y}{100} + \frac{l' + a'}{H'} \right) \qquad (2)$$

woraus sich der Strompreis y berechnen lässt. Es ist nämlich

$$y = 100 \cdot \frac{K' + z - K + h \left(\frac{l' + a'}{H'} - \frac{l + a}{H} \right)}{\frac{h \cdot (w - w')}{1000}} = \text{Rp./kWh} \qquad (3)$$

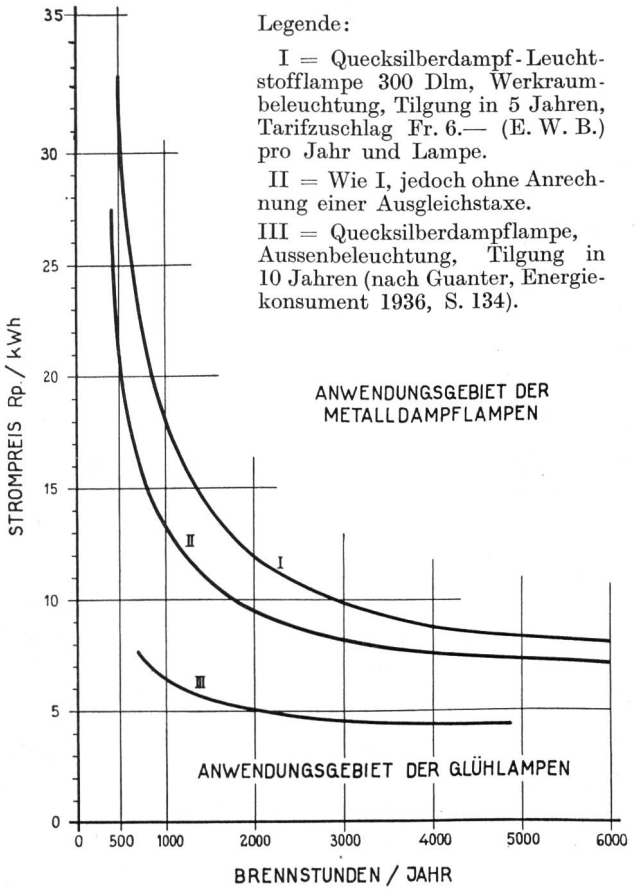


Abb. 6. Kurven gleicher Wirtschaftlichkeit für Glüh- und Metalldampflampen.

Die in Abbildung 6 dargestellten Kurven gleicher Wirtschaftlichkeit I und II für Glüh- und Metalldampflampen sind nach obiger Formel (3) berechnet worden. Sie stimmen übrigens mit den von J. Guanter, Zürich, in der Zeitschrift „Schweizerischer Energiekonsument"*) veröffentlichten Angaben grundsätzlich überein und zeigen, dass, rein wirtschaftlich betrachtet, die Anwendung von Metalldampflampen erstens bei einem einschichtigen Betrieb (8 Std./Tag) und zweitens bei einem Strompreis kleiner als 8 Rp./kWh für die Werkraumbeleuchtung praktisch ausser Betracht fällt.

Im allgemeinen ist die Verwendung von Metalldampflampen für den Lichtverbraucher dann wirtschaftlich, wenn grosse Flächen ununterbrochen zu beleuchten sind, hohe Beleuchtungsstärken gefordert werden, lange Benützungszeiten in Frage kommen, die Auswechslungskosten hoch sind und schliesslich, wenn die Energie teuer bezahlt werden muss. Der Grenzpreis liegt entschieden höher als in Abbildung 6 dargestellt, wenn man beim Glühlampenlicht die Möglichkeiten arbeitsplatzgebundener Beleuchtung ins Auge fasst.

Es gibt Elektrizitätswerke, die gemäss ihren Bestimmungen über die Abgabe elektrischer Energie bei der Verwendung stromsparender Lampen besondere *Tarifzuschläge* erheben, wenn die Beleuchtungsstärke gegenüber dem Betrieb der Anlage mit Glühlampenlicht nicht bedeutend verstärkt wird, d. h. wenn der stromsparenden Wirkung der Metalldampflampe aus fiskalischen Gründen entgegengetreten werden muss. Solche feste Zuschläge in der Grössenordnung von Fr. 6—12 pro Lichtquelle und Jahr haben zur Folge, dass die Anwendung der tageslichtähnlichen Beleuchtung unter Verwendung von Quecksilberdampflampen in vielen Fällen wirtschaftlich nicht tragbar ist. Man vergleiche die Kurven I und II, Abbildung 6.

Ausser den genannten, gebräuchlichsten Formen der Metalldampflampen, die vor allem bei der Strassenbeleuchtung rasch Eingang gefunden haben, sind noch weitere, weniger bekannte Modelle entwickelt worden, die hier der Vollständigkeit halber erwähnt seien. Zu diesen gehören die Höchstdruck-Quecksilberdampflampen, von denen es bereits zwei Arten gibt: eine Bauart mit kugelförmigem, luftgekühltem Entladungsrohr und einem Dampfdruck von 35 kg/cm² (Abb. 1), und eine zweite Bauart von der Form einer Kapillare mit wassergekühltem Rohr, das einen Dampfdruck von 75 kg/cm² aufweist (Abb. 2—4). Beide Lichtquellen sind stark konzentriert. Die mittlere Leuchtdichte wird zu 30 000 sb bei der kugelförmigen und zu 33 000 sb bei der kapillarförmigen Bauart angegeben, während Laboratoriumsausführungen sogar 170 000 sb erreicht haben sollen. Als Vergleich wird die Leuchtdichte der Sonne zu 150 000 und die der Kohlen-Bogenlampe zu 17 000 bis 70 000 sb angegeben. Das Spektrum der Höchstdruck-Quecksilberdampflampe unterscheidet sich von dem der Lampen mit geringerem Dampfdruck durch die bedeutend günstigere, getreuere Farbenwiedergabe. Bei wachsendem Druck werden nämlich die Kennlinien des Spektrums breiter und es entsteht ein kontinuierlicher Untergrund. Zwar befinden sich nur 27% der Gesamtstrahlung im sichtbaren Gebiet, während die unsichtbaren Anteile zusammen 73% ausmachen, nämlich die ultraviolette kurzwellige Strahlung 46% und die infrarote Wärmestrahlung 27%. Trotzdem ist die Lichtausbeute dieser Lampen recht hoch; sie ist etwa 3—4 mal grösser als bei Glühlampen.

Die Anwendung der Höchstdruck-Quecksilberdampflampen fällt wegen ihrer hohen Leuchtdichte und der verhältnismässig grossen, von einer einzelnen Lichtquelle erzeugten Lichtleistung eher in das Gebiet der früheren Bogenlampe als in das der Glühlampe. Die Höchstdruck-Quecksilberdampflampe wird mit Vorteil verwendet zur Beleuchtung von Fernseh- und Filmstudios, für Scheinwerfer aller Art und für die Beleuchtung von Flugplätzen.

Der Aufbau der gebräuchlichsten Modelle ist aus Abbildung 7 ersichtlich, während die physikalischen Eigenschaften in Tabelle 1 zusammengestellt sind.

2. Teil: Die Leuchtstofflampen.

In der Entwicklung der Leuchtstofflampe unterscheidet man grundsätzlich zwei Zeitabschnitte, einen älteren und einen neueren. Im älteren spielte der Leuchtstoff als Lichterzeuger eine mehr zusätzliche Rolle, wogegen er im neueren Abschnitt ausschlaggebend an der Lichterzeugung beteiligt ist. Die neuere Entwicklung begann erst im Jahre 1933 und brachte in der Folge die *Leuchtstoffröhre als farbige, sowie auch als weisse Lichtquelle* hervor. Die

*) Siehe Literaturangaben am Schluss.

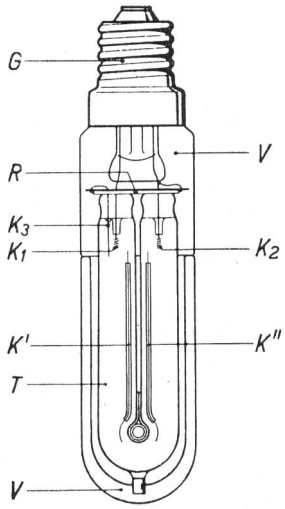
Die physikalischen Eigenschaften der gebräuchlichsten Metalldampflampen.

Technische Daten für 220 V Netzspannung.

Tabelle 1.

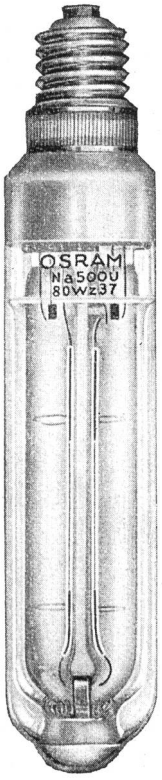
Metalldampflampen: Osram Typ:	—	—	—	NA300U	NA500U	NA 1000	HgQ 300	HgQ 500	HgL 300	HgL 500	HgH 1000	HgH 2000	HgH 5000	—	Kugelform HBO501	HBO 1005	—	—
Philips Typ:	SO250	SO 400	SO 650	—	—	SO1000	HP300E	HP500E	HPL 300	HPL 500	HO 1000	HO 2000	—	NP 1000 W	—	—	SP 500 W	SP 2000 W
Mittlerer Lichtstrom La	2500	4000	6500	3000	5000	10000	3000	5000	3000	5000	10000	20000	50000	40000	22500	45000	30000	120000
Temperatur der Entladung etwa °C	280	280	280	280	280	280	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6-8000	6-8000	8000	8000
Art der Kühlung (L= natürliche K' in Luft)	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	Wasser	Wasser
Mittlere Leuchtdichte etwa sb	10	10	10	10...12	10...12	10...12	40/650*	40/650*	5	5	200	230	300	1400	25000	25000	38000	38000
Aufgenommene Leistung inkl. Vorschaltgerät W	65	80	105	63	94	165	83	130	83	130	280	475	1060	1150	Lampe allein 550	2×500	560	2300
Lichtausbeute brutto La/W	38	50	62	47	53	61	36	385	36	385	36	42	47	42	Lampe allein 45	45	Lampe allein 60	60
Dampfdruck im Beharrungszustand etwa kg/cm²	einige 10^{-5}	einige 10^{-5}	einige 10^{-5}	einige 10^{-5}	einige 10^{-5}	einige 10^{-5}	8	8	8	8	1	1	1	16	35	35	75	75
Betriebsstrom primär/sekundär A	1,5/0,6	1,5/0,6	1,4/0,6	0,9	1,2	2,3/0,9	0,75	1,15	0,75	1,15	2,2	3,7	8	11/0,6	8...9	2×7-8,5	4,4/1,4	17/1,4
Zündspannung V	380	380	440	180	190	410	180	180	180	180	180	180	180	3500	200=	1500=	600∿	2400∿
Brennspannung V	80	110	165	65	70	165	125	125	125	125	130	130	130	1800	80-85=	80-85=	420∿	1700∿
Mittlere Lebensdauer Std.	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1000	200	100	200	150
Breite bzw. Durchm. d. leucht. Säule mm	2×14	2×14	2×14	44	52	37	2,5	2,5	2,5	2,5	6	8	12	2	2	4	1,3	1,3
Länge der leucht. Säule mm	130	190	305	115	175	400	24	30	24	30	100	140	176	250	4,5	4,5	12,5	50
Grösste Breite bzw. Durchm. der Lampe mm	50	50	50	60	64	65	80	90	110	130	50	56	42	70	36	40	6	6
Grösste Länge der Lampe m/Sockel mm	240	300	415	265	335	520	150	165	178	233	285	325	365	439	140	160	—	—
Sockelart	Bajonett	Bajonett	Bajonett	Goliath	Goliath	Bajonett	Ed. 27	Ed. 27	Ed. 27	Ed. 27	Goliath	Goliath	doppelseitig		Kabel	Kabel	spezial	
Kondensator z. Kompensierg. auf cos φ = 0,8 pF	20	18	16	10	13	23	5	7	5	7	13	21	41	132	—	—	—	—
Zulässige Stromart	∿	∿	∿	∿	∿	∿	∿	∿	∿	∿	∿	∿	∿	∿	=	=	∿	∿
Zulässige Brennlage				beliebig	beliebig		beliebig	beliebig	Osram: beliebig Philips:	Osram beliebig Philips:		schwarz unzulässig	nur waagrecht	schwarz unzulässig	nur senkrecht	nur senkrecht	nur waagrecht	nur waagrecht

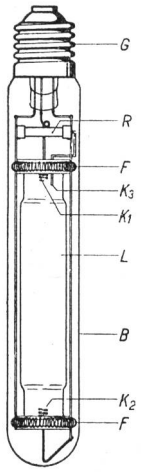
*) Für innenmattierten bzw. klaren Aussenkolben.



K_1 und K_2 = Hauptelektroden.
K_3 = Hilfselektrode.
R = Widerstand.
K' und K'' = von Glasmänteln umgebene Ueberbrückungsdrähte.
T = Entladungsröhre.
V = evakuierte Glasglocke.
G = Sockel E 40.

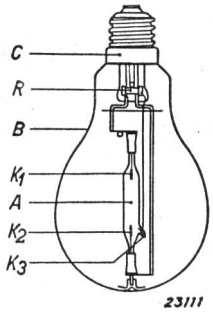
Abb. 7a. Natriumdampflampe, 300 bzw. 500 Dlm.





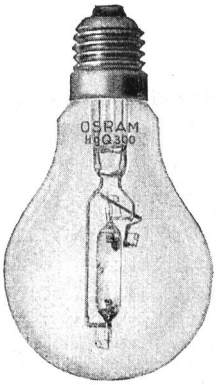
L = Glasröhre.
F = Federn.
K_1 und K_2 = Hauptelektroden.
K_3 = Hilfselektrode.
R = Widerstand.
B = Glaskolben.
G = Sockel E 40.

Abb. 7c. Quecksilberdampflampe, 1000 bzw. 2000 Dlm.



A = Quarzröhrchen.
K_1 und K_2 = Hauptelektroden.
K_3 = Hilfselektrode.
R = Widerstand.
B = Glaskolben.
C = Sockel E 27.

Abb. 7b. Quecksilberdampflampe, = 300 bzw. 500 Dlm.



Die Glühwendel dient gleichzeitig als Begrenzungswiderstand für die Quecksilberdampfentladung. Sockel E 40.

Abb. 7d. Quecksilberdampf-Mischlichtlampe, 500 Dlm.

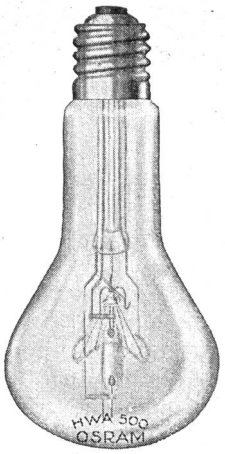


Abb. 7 a — d. Innerer Aufbau einiger der gebräuchlichsten Metalldampflampen.

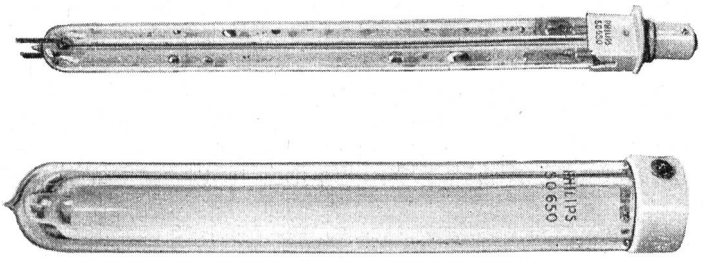


Abb. 8. Natriumdampflampe Typ S O 650 und das dazugehörige Vakuum-Wärmeschutzglas.

Leuchtstoffschicht wirkt dabei nicht mehr wie früher als Reflektor, sondern als selbststrahlender Körper. Der Leuchtstoff selbst wird auf der Innenwandung der Röhre in einer durchscheinenden, gleichmässigen Schicht verteilt, deren Lichtdurchlässigkeit, bezogen auf Klarglas, etwa 50% beträgt. Ein weiterer Fortschritt bestand in der Anpassung des Leuchtstoffs an die jeweiligen besonderen Verhältnisse der Gasentladung. Fast das ganze erzeugte Licht besteht aus Phosphoreszenzlicht. Der Anteil des direkten Quecksilberdampflichtes der zur Erregung der Leuchtstoffe dienenden Quecksilberdampf-Niederdruckentladung beträgt nur noch etwa 15% des gesamten Lichtstromes.

Abb. 9. Anwendung der Hochspannungs-Niederdruck-Leuchtstoffröhren.

Die Leuchtstoffröhre besteht im wesentlichen aus drei Teilen: dem Leuchtstoff (Silikate, Wolframate, Borate und Phosphate), der Strahlungsquelle, dem organischen oder anorganischen Binder.

Der organische Binder hat die Aufgabe, den Leuchtstoff nach dem Einbringen in die Röhre auf der Glaswandung gleichmässig zu verteilen. Nachdem er diese Aufgabe erfüllt hat, wird er durch Erhitzen wieder entfernt, weil er die Gasentladung stören würde. Der anorganische Binder hingegen erfüllt noch eine weitere Aufgabe, die darin besteht, den in der Röhre verteilten Leuchtstoff am Glas festzufritten. Dies geschieht dadurch, dass der Binder in der Röhre chemisch in eine zementähnliche Masse umgewandelt wird, auf der die Leuchtstoffkörnchen während der Erstarrung festgehalten werden.

Die *Leuchtstoffe* selbst haben sich bei den Untersuchungen der letzten Jahre als ideale Lichterzeuger erwiesen. Sie können in jeder Lichtfarbe hergestellt werden, sind an und für sich unbegrenzt haltbar und wandeln die primäre, erregende Strahlung mit einem Wirkungsgrad von 80% in Licht um. Im Betrieb einer Leuchtstofflampe sind die Leuchtstoffe allerdings nicht unbegrenzt haltbar, weil während der Brennzeit in der Quecksilberdampf-Niederdruckentladung chemische Einwirkungen stattfinden, die einen geringen Lichtabfall hervorrufen. Dieser Lichtabfall ist, bezogen auf kurze Brennzeiten von 500 bis 1000 Stunden, ähnlich wie bei der Wolfram-Glühlampe, bezogen auf längere Brennzeiten dagegen wesentlich günstiger.

Die Lichtausbeute der Leuchtstoffröhre ist von einer ganzen Reihe von Umständen abhängig. Sie liegt z. B. bei einer Röhre von 1 m Länge und 220 V Betriebsspannung je nach der Lichtfarbe zwischen 20 und 100 Lumen pro Watt (d. i. rund das 1,8- bis 9fache einer Glühlampe). Die *Temperatur*, bei der das Maximum der Strahlungsumwandlung liegt, ist bei den heute gebräuchlichen Leuchtstoffen teils unter 20°, teils bei 60° und bei einigen zwischen 100 und 200° Celsius. Die Leuchtstoffröhre unterscheidet sich von der wechselstrombetriebenen Gasentladungsröhre durch den Verlauf der Lichtstärke während einer Periode. Die wechselstrombetriebene Gasentladungslampe hat in jeder Periode zwei Dunkelpausen, in der die Lichtstärke auf Null herabgeht. Diese *Welligkeit des Lichtstärkeverlaufs* ruft den bekannten stroboskopischen Effekt an bewegten Gegenständen hervor. Bei der Leuchtstoffröhre wird diese Welligkeit durch das Nachleuchten des Leuchtstoffs so stark vermindert, dass gegenüber dem Lichtstärkeverlauf einer Glühlampe kein wesentlicher Unterschied mehr besteht. Leuchtstoffröhren für Hochspannungsanschluss sind heute in verschiedenen Rohrdurchmessern erhältlich. Sie werden in der Lichtreklame, in besonderen Fällen auch für die Raumbeleuchtung angewendet.

Als wichtigstes Ergebnis der Forschungsarbeiten

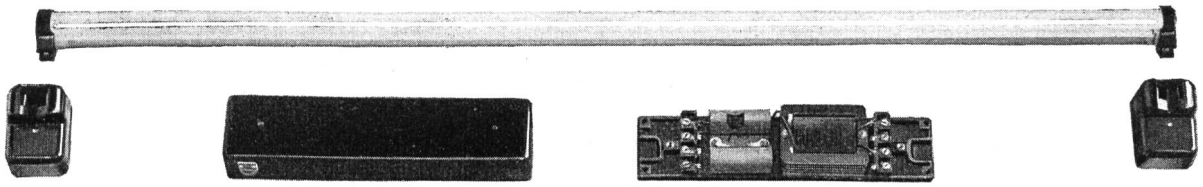


Abb. 10. Niederdruck-Niederspannungs-Leuchtstoffröhre für 220 Volt mit den nötigen Anschlussvorrichtungen. Länge 1 m, Lichtleistung ca. 1000 Lumen.

der letzten Jahre ist die Schaffung der *Niederdruck-Niederspannungs-Leuchtstoffröhre* für 220 V Wechselstrom zu betrachten, die in allen Farben hergestellt werden kann, und deren Farbtöne Rötlichweiss (Glühlicht) und Bläulichweiss (Tageslicht) von besonderer Bedeutung sind. Leuchtstoffröhren dieser Art sollen sich nach Ansicht der Fachleute ebensogut wie Wolframdrahtlampen für die Innenbeleuchtung eignen. Ihre Lichtausbeute beträgt, einschliesslich der Verluste des noch notwendigen, allerdings sehr kleinen Zusatzgeräts rund 30 Lm/W. Diese Röhren sollen schon für geringe Leistungsaufnahme (etwa 20 W, entsprechend einem Lichtstrom von etwa 65 Dlm) hergestellt werden können und dürften sich deshalb für die Innenbeleuchtung vorzüglich eignen. Sehr zu ihrem Vorteil spricht ferner die Eigenschaft, dass die Niederdruck-Niederspannungs-Leuchtstoffröhre — im Gegensatz zur Quecksilberdampf-Hochdruckröhre — *beim Einschalten sofort den vollen Lichtstrom abgibt* und auch beim Wiedereinschalten augenblicklich zündet. Diese Röhren sind in der Schweiz erst um die Mitte des Jahres 1940 auf den Markt gekommen und deshalb noch wenig verbreitet.

Die *Hochdruck-Niederspannungs-Leuchtstofflampe* erfreut sich bei uns schon einer weitgehenden Verwendung in der Aussenbeleuchtung. Sie wird besonders dort geschätzt, wo früher zur Verbesserung der Lichtfarbe dem Quecksilberdampflicht eine gewisse Menge Glühlicht beigemischt werden musste. Ihr innerer Aufbau entspricht demjenigen der gewöhnlichen Quecksilberdampflampe. Auf der Innenseite des das Entladungsrohr umgebenden Glaskolbens ist ein Leuchtstoff angebracht, der einen Teil der unsichtbaren ultravioletten Strahlen in sichtbare, vorwiegend rote Strahlen umwandelt und auf diese Weise die Farbe des sonst stark bläulichweiss leuchtenden Quecksilberdampflichts verbessert.

3. Teil: Folgerungen.

Die erfreuliche Entwicklung, die die Metalldampflampen in den letzten Jahren erfahren haben, lässt erkennen, dass auf diesem Gebiet noch ungeahnte Fortschritte zu erwarten sind. Es sind Anzeichen dafür vorhanden, dass in absehbarer Zeit flimmerfreie Leuchtstofflampen in jeder gewünschten Farbe für direkte Verwendung an einem Normalnetz mit 220 V Wechselstrom, mit einer 3—4 mal grösseren Lichtausbeute hergestellt werden können. Dann ist wahrlich das Zeitalter des „kalten Lichts" gekommen und wird die Glühlampe mit Bestimmtheit durch die Leuchtstofflampe verdrängt werden, so wie jene einst die Kerze, die Petrol- und die Leuchtgaslampe verdrängt hat. Daran wird auch der Umstand, dass diese Lampen zur Begrenzung des Betriebsstroms eines kleinen Vorschaltgeräts bedürfen, nichts ändern. Einzig die Tarifmassnahmen der Elektrizitätswerke können den Siegeszug des „kalten Lichts" hinausschieben, aber doch nicht aufhalten.

Der Verfasser dankt auch an dieser Stelle der Osram A.-G. und der Philips-Lampen A.-G., beide in Zürich, für die Ueberlassung wertvollen Bildmaterials.

Literaturangaben:

1. Die Metalldampflampen und ihre wirtschaftliche Bedeutung für den Lichtverbraucher. J. Guanter, Zürich. Energiekonsument 1936, 130—134.
2. Metalldampflampen und ihre Anwendungen. J. Guanter, Zürich. Schweiz. Bauzeitung 1936, 41—43.
3. Vergleich zwischen den Entladungsformen in Natrium- und Quecksilberdampflampen. G. Heller, Philip's Technische Rundschau 1936, 2—5 und 70—75.
4. Wassergekühlte Quecksilberdampflampen. E. G. Dorgelo, Philip's Techn. Rundschau 1937, 165—171.
5. Technischer Stand der Metalldampflampen für Allgemeinbeleuchtung. K. Larché und M. Reger, Berlin. ETZ 1937, 761—63.
6. Quecksilberdampflampen hoher Leuchtdichte. R. Rompe u. W. Thouret, Berlin. Zeitschrift für techn. Physik. 1938, 352—55.
7. Eigenschaften der Quecksilberhochdrucklampen mit mehreren Entladungsbögen. J. Kern und H. Kreft, Berlin. Zeitschrift für techn. Physik 1938, 355—59.
8. Technische Lichterzeugung mittels Leuchtstoffen. A. Rüttenauer, Berlin. Zeitschrift für techn. Physik 1938, 359—61.
9. Zur Physik der Strahlungsumwandlung durch Leuchtstoffe. Michael Schön, Berlin. Zeitschrift für techn. Physik 1938, 361—364.
10. Industriebeleuchtung mit Metalldampflicht. Udo Hartlieb, Leipzig. Siemens-Zeitschrift 1939, 123—126.
11. Mischlicht aus Natrium-Lampen und Glühlampen. J. Guanter, Zürich. Bulletin SEV 1940, Nr. 3, 62.
12. Versuche mit nachleuchtenden Leuchtstoffen. E. G. Andresen, Das Licht, 1938, 51—54.
13. Handbuch der Lichttechnik. R. Seewig, Berlin 1938 (speziell der Abschnitt: Strahlungsumwandlung durch Luminophore, bearb. von A. Rüttenauer).
14. Der derzeitige Stand der Technik der Glühlampen und Entladungslampen. Hans Ewest, Berlin. VDE-Fachberichte 1939, 224.
15. Ueber die Anwendung neuzeitlicher Leuchtstoffe in der Lichttechnik. Nikolaus Riehl, Berlin. VDE-Fachberichte 1939, 225—227.
16. Ein neues künstliches Tageslicht durch Leuchtstoffröhren. W. Schmidt, Berlin. Das Licht, 1940, 63—65.
17. Elektrische und lichttechnische Daten von Hochspannungsröhren mit und ohne Leuchtstoff. E. Rulla und E. Summerer. Das Licht, 1940, 66—69.
18. Anbringung und Zusatzgeräte von Hochspannungsleuchtstoffröhren für Innenbeleuchtung. K. Krüger, DLTG, VDE, Berlin. Das Licht, 1940, 69—73.
19. Die neue Quecksilberdampf-Mischlichtlampe für Allgemeinbeleuchtung und ihre Betriebseigenschaften, von K. Larché und E. Summerer. VDE, DLTG. Das Licht, 1940, 172—175.