Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 62 (1971)

Heft: 14

Artikel: Entladungslampen

Autor: Wichser, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915837

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

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

Entladungslampen

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

von *A. Wichser,* Zürich

Die Entladungslampen für Beleuchtungszwecke sind in 2 Entladungsarten aufgeteilt. Das Licht wird entweder durch eine Niederdruck- oder durch eine Hochdruckentladung erzeugt. Typische Vertreter der Niederdruckentladung sind die Fluoreszenzlampen und die Natriumdampflampen. Vertreter der Hochdruckentladung sind die Quecksilberdampflampen und neuerdings die Natriumhochdrucklampen.

In der Niederdruckentladung werden bekanntlich die Resonanzlinien eines Gases oder Metalldampfes angeregt. Bei den Fluoreszenzlampen ist der grösste Teil der von der Entladung erzeugten Strahlung unsichtbar, und erst durch Verwendung einer Leuchtstoffschicht wird es möglich, sie in sichtbares Licht umzuwandeln. Bei den Natriumdampflampen liegt die Resonanzstrahlung von vorneherein im sichtbaren Spektralgebiet. Die Strahlungsleistung wird zu etwa 80 % in den gelben Spektrallinien emittiert.

Steigert man bei einer Entladung den Strom und den Dampfdruck, so können infolge Selbstabsorption die Resonanzlinien nicht mehr emittiert werden. Aus diesem Grunde und durch die vermehrt auftretenden Stufenanregungen wird die Leistung in einem breiten Spektralgebiet emittiert. Dies ist der Fall bei den Quecksilberhochdruck- und auch bei den Natriumhochdrucklampen.

1. Quecksilberdampflampen

Fig. 1 zeigt den Unterschied der spektralen Verteilung in einer Nieder- und in einer Hochdruck-Entladung. Unten ist die spektrale Strahldichteverteilung einer Quecksilber-Entladung in Niederdruck, und wie es aus der Figur ersichtlich ist, liegt der grösste Teil der erzeugten Strahlung im unsichtbaren Gebiet und zwar bei der Resonanzlinie 253,7 nm. Oben ist die spektrale Verteilung in Hochdruck. Die erzeugte Strahlung verteilt sich in einem breiten Spektralgebiet, teils im Unsichtbaren, und grösstenteils im Sichtbaren. Das Spektrum besteht aus Linien.

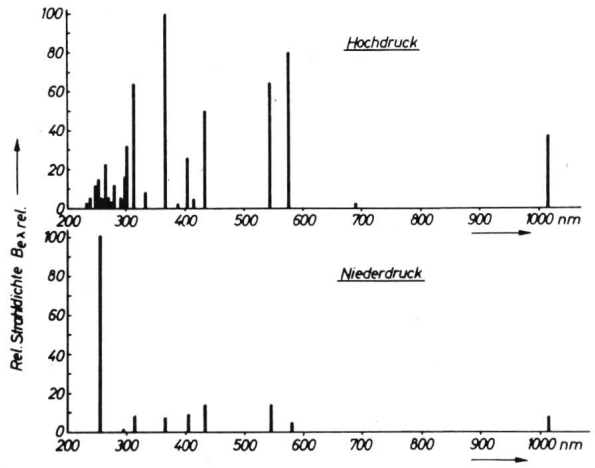

Fig. 1
Quecksilberdampf-Entladung
Relative spektrale Strahldichteverteilung bei Niederdruck und Hochdruck

Ein Nachteil dieser Hochdrucklampen ist, dass die Lichtfarbe nicht wie bei Fluoreszenzlampen frei gewählt werden kann, sondern durch die Art des Entladungsträgers bestimmt ist. Trotz des Vorteils der hohen Leistungskonzentration sind Lichtausbeute und Farbwiedergabe nicht befriedigend. Der Farbwiedergabeindex der reinen Quecksilberlampen liegt bei $R_a = 22$.

Die Bestrebungen, die Farbwiedergabe zu verbessern, führte zur Schaffung der Mischlicht-Lampe, d. h. einer in sich vereinigten Glüh- und Quecksilberlampe. Die Glühwendel hat die Aufgabe, den Entladungsstrom zu begrenzen und gleichzeitig den im Licht der Quecksilber-Entladung fehlenden Rotanteil zu ergänzen. Die Lichtausbeute der Mischlicht-Lampen ist aber im Durchschnitt 50 % geringer als die der reinen Quecksilberlampen.

Um die Farbwiedergabe und die Lichtausbeute der Quecksilber- und der Mischlichtlampen zu verbessern, wurde der Aussenkolben mit Germanat-Leuchtstoff beschlämmt. Dieser Leuchtstoff ergänzte wohl den fehlenden Rotanteil des Spektrums, führt aber nicht zu einer Steigerung der Lichtausbeute, weil der Lichtstromgewinn vom Leuchtstoff wieder durch Lichtabsorption in der aufgebrachten Schicht aufgehoben wird. Der Farbwiedergabeindex der Mischlicht-Lampen mit Germanat-Leuchtstoff liegt bei $R_a = 45$.

Neuerdings aber ist es gelungen, mit Yttrium-Vadanat-Leuchtstoff, der von der Farbfernsehröhrentechnik her bekannt wurde, den Rotanteil des Spektrums nochmals zu erhöhen, und damit die Farbwiedergabe nochmals zu verbessern. Das Schönste aber ist, dass durch Verwendung dieser Yttrium-Vadanat-Leuchtstoffe auch ein Lichtstromgewinn von 8...10 % gegenüber den bisherigen Mischlicht- und Quecksilber-Lampen erzielt wird. Der Farbwiedergabeindex der neuen Mischlicht-Leuchtstofflampen liegt bei $R_a = 60$ und der der neuen Quecksilber-Leuchtstofflampen bei $R_a = 48$.

Günstigere Eigenschaften bei Hochdrucklampen sind zu erreichen, wenn es gelingt, entweder den visuellen Nutzeffekt der Entladung zu verbessern, oder die Wärmeverluste zu vermindern. Man kann dies erreichen, indem man der Quecksil-

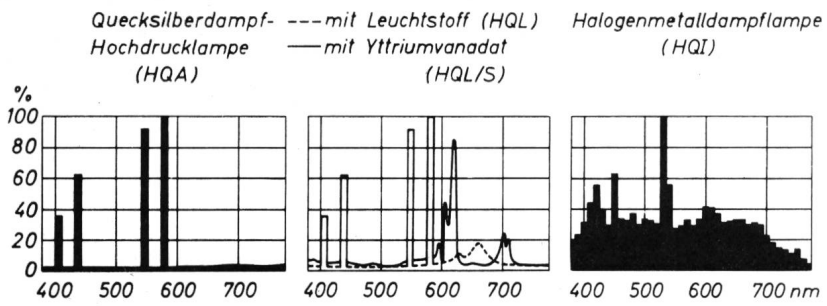

Fig. 2
Relative spektrale Strahldichteverteilung von Quecksilberhochdrucklampen

berentladung Metalle hinzufügt, die das Spektrum auffüllen und indem man den Druck der Entladung erhöht. Diese Erkenntnis ist nicht neu. Sie konnte jedoch bisher nicht verwirklicht werden, da in beiden Fällen eine zu hohe Belastung der Quarzwand erforderlich war, was zu einer starken Schwärzung des Brenners führte und damit eine kurze Lebensdauer der Lampe bewirkte.

Die ersten Schritte zur Entwicklung neuer Hochdrucklampen erfolgten im Jahre 1960. *B. Kühl* wies nach, dass sich hohe Lichtausbeuten bis zu 90 lm/W mit Hilfe von Metallhalogeniddämpfen erreichen lassen, wenn diese als Zusätze in Quecksilber-Hochdruck-Entladungen eingebracht werden. Dabei werden die günstigen Eigenschaften der Quecksilberentladung ausgenützt. Es lassen sich hohe Dampfdrücke erzielen, die geringe Wärmeverluste und hohe Brennspannungen zur Folge haben. Als Zusätze für diese Steigerung der Lichtausbeute haben sich die Halogenide solcher Metalle bewährt, deren Anregungsspannungen gegenüber denen des Quecksilbers gering sind und deren Strahlung einen hohen visuellen Nutzeffekt besitzt. Das sind insbesondere Elemente, die im sichtbaren Spektralbereich Resonanzlinien aufweisen, wie z. B. Thalium, Indium und Natrium. Lampen mit diesen Zusätzen sind für allgemeine Beleuchtungszwecke als Metallhalogendampflampen bekannt. Sie haben nicht nur eine höhere Lichtausbeute als die entsprechenden Quecksilber-Hochdrucklampen mit oder ohne Leuchtstoff (bis zu 60% je nach Leistung), sondern auch eine bessere Farbwiedergabe, da die Verteilung der Spektrallinien im sichtbaren Spektralbereich gleichmässiger ist als bei den Linien des Quecksilbers allein und sich die Stärke der Linien durch die Mengendosierung der Zusätze einzeln variieren lässt. Die Zusätze werden als Halogenide eingebracht, um einerseits, wie erwähnt, den notwendigen Dampfdruck zu erzeugen (der in den meisten Fällen bei Halogeniden wesentlich höher ist als bei den reinen Metallen), und anderseits um die heisse Quarzglaswand des Brenners vor einem chemischen Angriff des reinen Metalldampfes zu schützen.

Die Metalljodidmoleküle dissozieren in der Entladung (warme Bogenzone) und rekombinieren wieder in den kälteren Randzonen. Dieser Kreisprozess, ähnlich wie für die Halogen-Glühlampen, verhindert, dass freie Metallatome die Quarzwand und Metalldurchführungen zerstören, so dass es überhaupt erst möglich war, Metalle wie Natrium der Entladung zuzusetzen. Die Verwendung chemischer Kreisprozesse in Lichtquellen führt zu völlig neuen Möglichkeiten der Lichterzeugung, und es ist noch nicht abzusehen, welche Anwendungszwecke sich im einzelnen ergeben werden.

Besonders gute Eigenschaften der Farbwiedergabe lassen sich erreichen, wenn man neben den Jodiden des Thaliums und des Indiums, statt des bisher üblichen Natriums, seltene Erden verwendet. Die seltenen Erden wie Dysprosium senden in sichtbarem Gebiet ein Vielliniensspektrum, ein Quasi-Kontinuum aus. Solche Lampen sind als Halogenmetalldampflampen mit Dysprosium-Jodidzusätzen bekannt und stellen den letzten Stand der Entwicklung im Gebiet der Hochdruckentladungslampen dar.

Fig. 2 zeigt die Gegenüberstellung der relativen Strahldichten-Verteilung von Quecksilber-Hochdrucklampen. Links ist die spektrale Verteilung der reinen Quecksilberdampflampen mit den typischen Quecksilberlinien dargestellt. In der Mitte ist die spektrale Verteilung der Quecksilberdampflampen mit Germanat-Leuchtstoff HQL (gestrichelte Linie) und mit dem neuen Yttrium-Vadanat-Leuchtstoff HQL/S (ausgezogene Linie) angegeben. Rechts ist die spektrale Verteilung der neuen Lampen mit Dysprosium-Jodid-Zusätzen zu sehen. Das Spek-

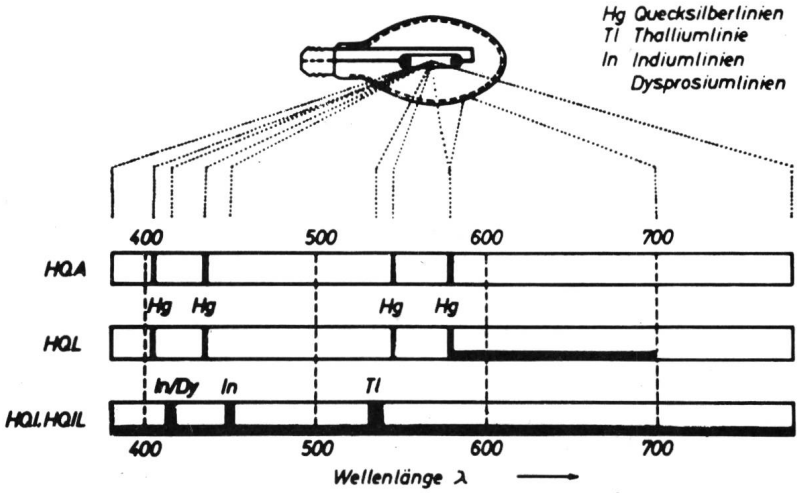

Fig. 3
Quecksilber-Hochdrucklampen
Spektren verschiedener Bauarten

trum nebst den Linien des Indium- und Thalium-Jodids weist ein Kontinuum auf.

Noch anschaulicher sind die Spektren der verschiedenen Lampenarten auf Fig. 3 zu sehen. Oben die reine Quecksilberdampflampe, in der Mitte die Quecksilberdampflampe mit Yttrium-Vadanat-Leuchtstoff und unten schliesslich die Dysprosiumlampe. Diesem letzten Spektrum ist zu entnehmen, dass die Farbwiedergabeeigenschaften dieser Lampe sehr gut sein müssen. Der Farbwiedergabeindex liegt auch tatsächlich bei $R_a = 85$.

Die Anwendungsmöglichkeiten der Dysprosium-Lampen sind mannigfaltig, sei es für Aussen- oder Innen-Beleuchtung. Besonders zu empfehlen sind diese Lampen überall dort, wo mit Farbfernsehreportagen zu rechnen ist.

Von den bis jetzt erwähnten Entladungslampen sind die Mischlicht-Lampen mit Yttrium-Vadanat-Leuchtstoff (HWL/S) in den Leistungen 160 W, 250 W, 500 W und 1000 W schon vorhanden. Von den Quecksilber-Hochdrucklampen ebenfalls mit Yttrium-Vadanat-Leuchtstoff (HQL/S) ist die ganze Leistungsreihe von 50 W, 80 W, 125 W, 250 W, 400 W, 700 W, 1000 W und 2000 W erhältlich. In den Leistungen von 250 W und 400 W sind diese Lampen auch mit pilzförmigem Kolben mit Reflexschicht (HQLS/R) lieferbar.

Von den Metallhalogendampflampen mit Dysprosium sind die Lampen mit Ellipsoidkolben aus Klarglas (HQI) oder mit Leuchtstoff (HQIL) in der Leistung von 400 W vorhanden. Die Entwicklung einer 250-W-Lampe ist abgeschlossen, die Lampe ist aber vorläufig noch nicht verfügbar.

Vorhanden ist, ebenfalls in der Leistung von 400 W, eine Dysprosium-Lampe in Soffittenform (HQI-TS), die geeignet ist für Rinnenscheinwerfer in gedrängter Bauart (ähnlich wie Scheinwerfer für stabförmige Halogen-Glühlampen).

Lampen grösserer Leistung wie 1000 W, 2000 W, 3500 W in Röhrenform sind verfügbar.

Alle diese Dysprosium-Lampen werden mit einem Zündgerät gezündet. Die Lampen von 2000 W Leistung können durch entsprechende Auslegung des Zündgerätes und durch Verwendung einer ebenfalls vorhandenen Lampen-Spezial-Ausführung in warmem Zustand sofort wiedergezündet werden.

Die Metallhalogendampflampe mit Natriumjodid an Stelle des Dysprosiums in der Leistung von 2000 W ist immer noch lieferbar. Diese Lampe braucht, um gezündet zu werden, kein Zündgerät.

2. Natriumdampflampen

Hier ist zu unterscheiden zwischen Natriumniederdruck- und Natriumhochdrucklampen.

Die Natriumniederdrucklampe erzeugt, weil die Resonanzlinie des Natriums bei 589 nm liegt, monochromatisches Licht. Die stark gelbe Linie führt durch die gute V_y-Bewertung zwangsläufig zu hohen Lichtausbeuten bei allerdings schlechter Farbwiedergabe. Die Niederdruckentladung ergibt bei etwa 270 °C und einem Dampfdruck von einigen 10^{-3} Torr ihre optimale Lichtausbeute und erfordert ein verhältnismässig grosses Kolbenvolumen. Dabei treten erhebliche Wärmeverluste auf. Durch zusätzliche Wärmeschutzgefässe und neuerdings durch Verwendung infrarotreflektierender Zinn-Oxydschicht liess sich der Wärmehaushalt der Lampe erheblich verbessern, so dass man heute bei einer Lampe von 180 W Leistung bis auf 172 lm/W kommt. Damit sind diese Lampen als die wirtschaftlichsten Lichtquellen für alle Anwendungsfälle anzusprechen, bei denen die Farbwiedergabe eine untergeordnete Rolle spielt.

Eine Verbreiterung des Spektrums, und damit eine Verbesserung der Lichtfarbe und Farbwiedergabe ist nur möglich bei höherem Dampfdruck, d. h. bei 200...250 Torr. Das Entladungsgefäss nimmt dabei Temperaturen bis zu 1200 °C an.

Die Entwicklung einer solchen Lampe war erst vor wenigen Jahren möglich, als in den USA der entscheidende Schritt gelang, ein transparentes, hochschmelzendes, natriumfestes Entladungsgefäss aus Korund (Al_2O_3) herzustellen. Solche Lampen erreichen trotz ihrer besseren Farbwiedergabe noch Lichtausbeuten von 100 lm/W und mehr. Ihr Farbwiedergabeindex liegt bei $R_a = 25$, gegenüber $R_a = -46$ der Niederdrucklampe.

Eine Gegenüberstellung der spektralen Verteilungen bei Nieder- und Hochdrucklampen zeigt Fig. 4. Links ist die Verteilung der Natrium-Niederdrucklampe mit der starken Linie von 589 nm und rechts das verbreiterte Spektrum der Natrium-Hochdrucklampe, das zwangsläufig zu einer besseren Farbwiedergabe führt. Damit ergibt sich wieder gegenüber den bisherigen Natrium-Niederdrucklampen ein breiteres Anwendungsgebiet sowohl in der Strassen- als auch in gewissem Umfang in der Innenbeleuchtung.

Von den Niederdrucklampen ist die ganze Leistungsreihe von 35 W, 55 W, 90 W, 135 W und 180 W mit röhrenförmigen Kolben vorhanden. Eine stabförmige Lampe von 200 W Leistung in der gleichen Länge und mit gleichen Sockeln wie eine

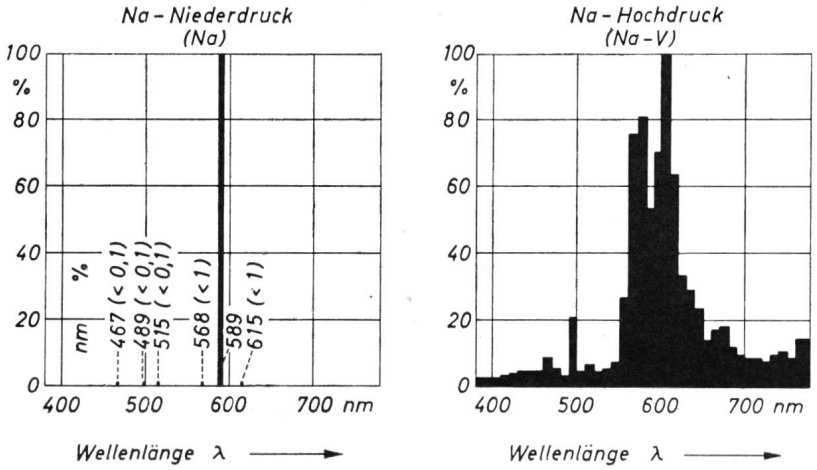

Fig. 4
Relative spektrale Strahldichteverteilung von Natrium-Dampflampen

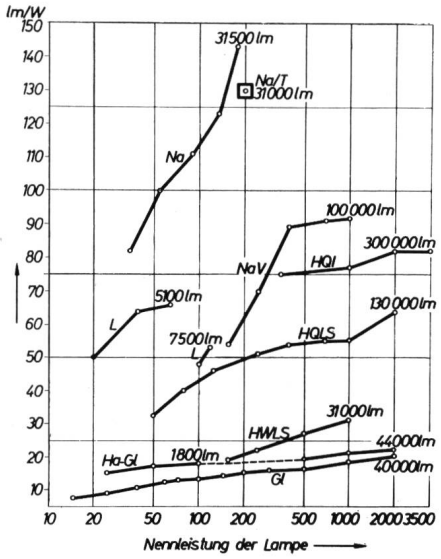

Fig. 5
Lichtausbeuten von Lampen für Allgemeinbeleuchtung (lm/W)
bei Entladungslampen einschliesslich Vorschaltgerät

Fluoreszenzlampe von 40 W ist ebenfalls erhältlich. Von den Hochdrucklampen sind solche mit einer Leistung von 250 W und 400 W vorhanden. Die fehlende Lampe der Leistungsreihe, und zwar 1000 W, ist in Vorbereitung.

Im Rahmen dieses kurzen Aufsatzes ist es nicht möglich, die vielen Entwicklungen auf dem Gebiet der Lichterzeugung im einzelnen darzustellen. Ein Überblick über den derzeitigen Stand der Lichtausbeuten vermittelt Fig. 5.

Hier sind die Lichtausbeuten der Normal-Glühlampen (GL) der Halogen-Glühlampen (Ha-Gl), der Mischlichtlampen mit Yttrium-Vadanat-Leuchtstoff (HWL/S), der Quecksilberdampflampen ebenfalls mit Yttrium-Vadanat-Leuchtstoff (HQL/S), der Fluoreszenzlampen (L), der Natriumhochdrucklampen (Na V), der Metallhalogendampflampen (HQI) und schliesslich der Natriumniederdrucklampen (Na) angegeben. Separat als Punkt aufgeführt ist die Lichtausbeute der stabförmigen Natrium-Niederdrucklampen von 200 W. Alle diese Lichtausbeuten verstehen sich, bei den Entladungslampen, einschliesslich Verluste in den Vorschaltgeräten.

Zusammenfassend kann man sagen, dass in den letzten Jahren auf dem Gebiet der Lichtquellentechnik enorme Fortschritte erzielt wurden. Das Hauptaugenmerk wird dabei auf die Erhöhung der Lichtausbeute gelegt, was einer laufenden Verbilligung der Lumenstunde im Interesse des Lichtverbrauchers gleichkommt. Nur so ist es möglich, die den wissenschaftlichen Erkenntnissen entsprechenden, steigenden Beleuchtungsanforderungen auf wirtschaftliche Weise zu realisieren.

Adresse des Autors:
A. Wichser, Ingenieur, Osram AG, Limmatquai 3, 8001 Zürich.