

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 54 (1963)

**Heft:** 8

**Artikel:** Neue Natriumdampf-Lampen höherer Leistung

**Autor:** Gebhardt, H.J. / Kühl, B.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916471>

#### **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:** 17.02.2026

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

$P_{Amax}$  maximale Verluste an der defekten Stelle bei Teilleiterkurzschlüssen durch die beschädigte Lagenisolation hindurch [W]

$P_{Bmax, k}$  maximale Verluste an der defekten Stelle bei Teilleiterkurzschlüssen zwischen parallel verlaufenden Leitern durch die beschädigte Einzelleiterisolation hindurch bei k-fachem Kurzschluss [W]

$t$  Zeit [s]

$\Delta t$  Temperaturanstieg der Kurzschlussstelle [°C]

$\operatorname{tg} \delta$  Verlustfaktor

$\operatorname{tg} \delta_0$  Verlustfaktor bei Messspannungen unterhalb der Glimmeinsatzspannung [%]

$\left(\frac{\Delta \operatorname{tg} \delta}{\Delta U}\right)_{max}$  maximaler Verlustfaktoranstieg pro kV

$U_n$  Nennspannung [kV]

$U_m$  Meßspannung [kV]

#### Literatur

- [1] Ringland, W. L. und L. T. Rosenberg: A New Stator Coil Transposition for Large Machines. Trans AIEE-III, Power App. & Syst., 78(1959)44, S. 743...747.  
 [2] Rylander, J. L.: A High-Frequency Voltage Test for Insulation of Rotating Electrical Apparatus. Trans. AIEE 45(1926),

Februar, S. 459...465.

- [3] Wellauer, M.: Eine neue Anordnung zur Prüfung der Windungsisolation von Maschinenspulen. Bull. Oerlikon —(1944)251, S. 1624...1626.  
 [4] Moses, G. L. und Earl F. Harter: Winding-Fault Detection and Location by Surge-Comparison Testing. Trans. AIEE 64(1945), Juli, S. 499...503.  
 [5] Müller, R.: Le contrôle des bobinages des machines rotatives en cours de fabrication. ACEC-Rev. —(1955)4, S. 21...27.  
 [6] Smirnow, M. W.: Prüfung der Windungsisolation der Wicklungen von Elektromotoren bei Betriebsverhältnissen. (= russisch). Elektritschestwo —(1955)5, S. 49...51.  
 [7] Ritter, A. und O. Wohlfahrt: Mesures diélectriques sur les isolations d'enroulements de stators. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 18. Session 1960, Bd. 2, Rapp. 122.  
 [8] Edwin, K.: Zur Frage der Abnahmeprüfung von Generator-Hochspannungswicklungen. Diss. TH Graz 1959.  
 [9] Doljak, B., M. Moravec und O. Wohlfahrt: Micadur — eine neue Isolation für Statorwicklungen elektrischer Maschinen. Brown Boveri Mitt. 47(1960)5/6, S. 352...360.  
 [10] Meyer, H.: Zur Bedeutung von Verlustfaktorkenngrößen für Wicklungsisolierungen elektrischer Maschinen. ETZ-A 83(1962)2, S. 46...52.  
 [11] Wohlfahrt, O.: The Problem of Functional Tests with Solid High Voltage Insulation. Insulation —(1960), Dezember, S. 73...77.  
 [12] Wohlfahrt, O.: Messung des Glimmens an der Isolation von Statorwicklungen rotierender Hochspannungsmaschinen. E und M 78(1961)23, S. 673...681.

#### Adresse der Autoren:

M. Moravec, T. H. Sie und O. Wohlfahrt, Ingenieure der AG Brown, Boveri & Cie., Baden (AG).

## Neue Natriumdampf-Lampen höherer Leistung

Von H. J. Gebhardt und B. Kühl, Berlin

DK 621.327.532

Es werden die Eigenschaften von Natriumdampfentladungen und die sich ergebenden Möglichkeiten zur Entwicklung leistungsstarker Natriumdampflampen mit hohen Lichtausbeuten diskutiert. Als Anwendung wird eine stabförmige Natriumdampflampe mit einem von der Kreisform abweichenden Entladungsquerschnitt beschrieben. Die Lampe hat bei einer Leistungsaufnahme von 220 W und einer Lichtausbeute von ca. 120 lm/W etwa die Abmessungen einer 40-W-Leuchtstofflampe. Sie kann mit Drosselspule und einem Starter an 380 V Netzspannung betrieben werden.

### 1. Einleitung

Die Arbeiten zur Entwicklung lichtstärkerer und wirtschaftlicherer Lichtquellen haben in den letzten Jahren auch Verbesserungen und Neuentwicklungen von Natriumdampflampen gebracht. Mit dem Ausbau der Verkehrsnetze und der Verkehrsknotenpunkte haben diese Lampen für die Beleuchtung von grossflächigen Verkehrsanlagen und Anlagen, bei denen die Farbwiedergabe von untergeordneter Bedeutung ist, wegen ihrer hohen Wirtschaftlichkeit an Bedeutung gewonnen.

Natriumdampflampen wurden bis vor einigen Jahren nur bis zu einer Leistungsaufnahme von 140 W und Lichtausbeuten von etwa 80 lm/W hergestellt. Als Übergangslösung sind zwei solcher 140-W-Entladungsgefäße in einem Lampenkörper als 280-W-Lampe zusammengefasst worden, diese Massnahme ist jedoch nicht als echte Typenerweiterung anzusehen, da dazu zwei Vorschaltgeräte erforderlich sind. Echte Typenerweiterungen stellen erst die in den letzten Jahren entwickelte 200-W-Lampe in U-Form und die in England entwickelte stabförmige Natriumlampe [1; 2<sup>1)</sup>], ebenfalls mit 200 W Leistungsaufnahme, dar. Beide Lampentypen erreichen eine Lampenlichtausbeute von 100 lm/W, liegen jedoch in der Ausbeute, falls die Energieaufnahme des Vorschaltgerätes hinzugerechnet wird, noch darunter.

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Les auteurs discutent des propriétés de décharges dans la vapeur de sodium et des possibilités qui en résultent pour la fabrication de lampes à vapeur de sodium ayant des coefficients d'efficacité élevés. A titre d'exemple, ils décrivent une lampe tubulaire, avec section de décharge s'écartant de la forme circulaire. Cette lampe, dont les dimensions sont analogues à celles d'une lampe à fluorescence de 40 W, absorbe une puissance de 220 W, avec un coefficient d'efficacité d'environ 120 lm/W. Elle peut fonctionner sous une tension de réseau de 380 V, avec bobine d'inductance et starter.

Hier soll eine Weiterentwicklung der stabförmigen Lampe mit 220 W Leistungsaufnahme beschrieben werden, die erstmals eine Lichtausbeute zusammen mit dem Vorschaltgerät von 100 lm/W überschreitet und eine Lampenlichtausbeute von ca. 120 lm/W erreicht (Fig. 1). Eine Gegenüberstellung der Daten älterer und neuerer Na-Lampen gibt Tabelle I (s. auch [3]).

Werte von älteren und neueren Natriumdampflampen

Tabelle I

a) Lampen mit getrenntem Entladungs- und Wärmeschutzrohr (Dewargefäßlampen)				
Lampenleistung $P_L$ W	Lichtstrom $\phi$ lm	Lichtausbeute $\eta$ lm/W	Entladungsrohrform	
		ohne Vorschaltgerät	mit Vorschaltgerät	
45	2 700	60	41	U
60	4 300	72	53	U
85	6 800	80	64	U
140	11 000	78	67	U
b) Lampen mit angeschmolzenem Wärmeschutzrohr (ab 1958)				
45	3 300	73	50	U
60	5 000	83	62	U
85	8 000	94	75	U
140	13 000	93	80	U
200	21 500	107	90	U
200	20 000	100	85	Stabform
220	26 000	118	105	Stabform

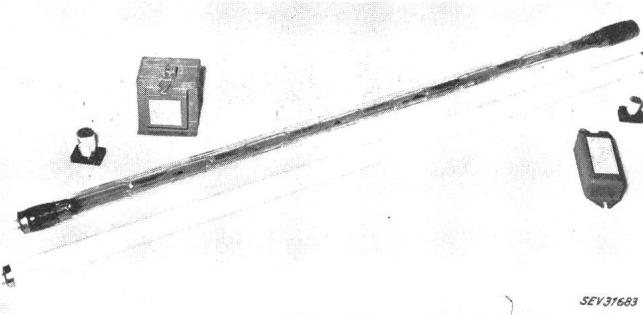


Fig. 1

Natriumdampflampe 220 W mit Vorschaltrosselpule und Starter im Vergleich mit einer Leuchtstofflampe 40 W

## 2. Eigenschaften der Natriumdampfentladung und Folgerungen für den Lampenbau

Drei Eigenschaften machen die Dampfphase des Alkalimetalls Natrium für die Lichterzeugung besonders geeignet [4; 5]:

1. Niedrige Anregungsenergie der Natriumresonanzlinie (2,1 eV);
2. Grosse Anregungswahrscheinlichkeit dieser Doppellinie (95 % der Elektronenenergie werden bei einem Natriumdampfdruck von  $5 \cdot 10^{-3}$  Torr und einer Stromdichte von  $5 \text{ mA/cm}^2$  in Strahlung umgewandelt);
3. Wellenlänge von 5890 Å und 5896 Å, die in der Nähe der maximalen Empfindlichkeit des menschlichen Auges liegt (5550 Å) und ein Lichtäquivalent von 76,5 % (520 lm/h) hat.

Die Einfarbigkeit des Natriumdampflichtes kann als Nachteil empfunden werden; bei geeignetem Einsatz von Natriumdampflampen wird dieser Nachteil jedoch durch die Vermeidung der chromatischen Aberration des menschlichen Auges, und damit durch eine Steigerung der Kontrastempfindlichkeit, wettgemacht. Der Wert von 520 lm/W bezieht sich auf eine vollständige Umwandlung der Bewegungsenergie der Elektronen in Resonanzlicht. Er kann nie erreicht werden, da die Anregungswahrscheinlichkeit der Linie immer unter 1 liegt. Bei Zuführung der zur Erzeugung der notwendigen Natriumdampfdichte erforderlichen Ener-

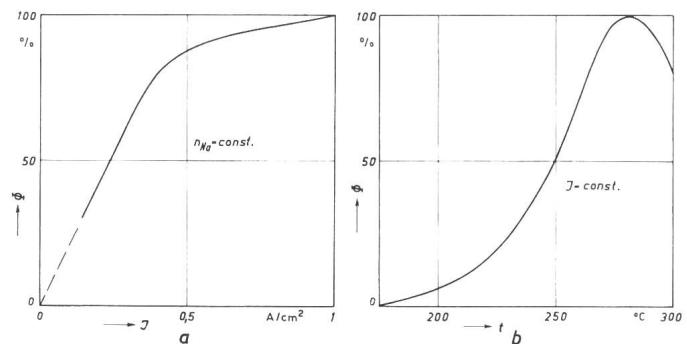


Fig. 2  
Charakteristische Daten von Natriumdampfentladungen

a Abhängigkeit des Lichtstromes  $\phi$  einer Natriumdampfentladung von der Stromdichte  $J$  bei konstanter Natriumdampfdichte  $n_{\text{Na}}$

b Abhängigkeit des Lichtstromes  $\phi$  einer Natriumdampfentladung von der die Dampfdichte bestimmenden Temperatur  $t$  bei konstanter Stromdichte  $J$

c Abhängigkeit der Lichtausbeute  $\eta$  einer Natriumdampfentladung von der Stromdichte  $J$  bei konstanter Dampfdichte  $n_{\text{Na}}$

gie von aussen und Einhaltung besonders günstiger Entladungsbedingungen sind jedoch 300 lm/W [6] und später sogar 430 lm/W erreicht worden.

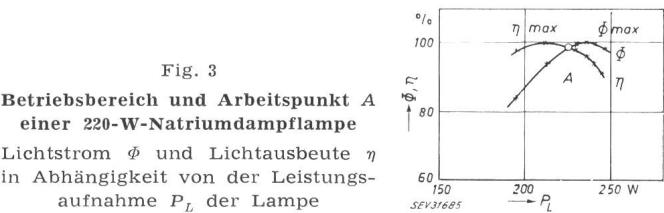
Lichtstrom und Lichtausbeute sind bei einer Natriumdampfentladung fast ausschliesslich durch die Stromdichte und die Natriumdampfdichte bestimmt. Der charakteristische Verlauf von Lichtstrom und Lichtausbeute in Abhängigkeit von diesen Grössen ist aus Fig. 2 zu ersehen. Bei konstanter Dichte des Natriumdampfes, d. h. konstanter Temperatur des Entladungsgefässes steigt der Lichtstrom bei kleinen Stromdichten zunächst proportional an, bei höheren Stromdichten wird die Lichtstromzunahme durch das Anwachsen von Stufenprozessen, die zur Emission von infraroten Linien auf Kosten der Strahlung im sichtbaren Spektralbereich führen, geringer. Diese Schwächung der Ausbeute an Resonanzstrahlung bestimmt so die Abhängigkeit der Lichtausbeute von der Stromdichte bei konstanter Dampfdichte.

Bei konstanter Stromdichte durchläuft der Lichtstrom mit wachsender Dampfdichte ein ausgeprägtes Maximum. Bei weiterer Erhöhung des Dampfdruckes nimmt der Lichtstrom unter dem Einfluss der Selbstabsorption der Natriumdampf-Linien und der Emission von infraroten Linien ab. Vor allem diese Abhängigkeit hat zur Folge, dass eine Natriumdampf-Niederdruck-Entladungslampe nur in einem bestimmten Bereich der Dampfdichte wirtschaftlich, d. h. mit hoher Lichtausbeute betrieben werden kann.

In Fig. 3 ist die Abhängigkeit des Lichtstromes von der Lampenleistung für eine 220-W-Natriumdampf-Lampe im Prozentmaßstab aufgetragen. Das Maximum der Lichtausbeute und das des Lichtstromes begrenzen einen Bereich, in dem die Lampe wirtschaftlich betrieben werden kann. Die Lage dieses Bereiches sowie die Beträge von Lichtstrom und Lichtausbeute hängen von den Abmessungen und dem Aufbau der Lampe ab.

Aus den Eigenschaften der Natriumdampfentladung ergibt sich eine Reihe gegensätzlicher Forderungen, welche die Ursache dafür sind, dass für Beleuchtungszwecke verwendbare Natriumdampflampen bisher nur bis zu 25 % der theoretisch möglichen Lichtausbeute erreichen. Die Forderung nach hoher Lichtausbeute ist mit vernünftigen Abmessungen und einem hohen Lichtstrom zu verbinden. Eine hohe Lichtausbeute erfordert aber eine kleine Stromdichte bei einem Dampfdruck, der ohne äussere Wärmezufuhr nur durch hohe Stromdichte zu erzeugen ist. Hoher Lichtstrom dagegen erfordert entweder eine relativ hohe Stromdichte oder eine sehr lange Lampe. Es bleibt als Kompromiss, Lampen vertretbarer Länge zu bauen, die Stromdichte so hoch zu machen, dass sie zur Erzeugung des optimalen Dampfdruckes ausreicht, das Verhältnis von Entladungslänge zu Entladungsquerschnitt möglichst gross zu machen, um die relativen Elektrodenverluste klein zu halten und ausserdem die Wärmeisolation so wirtschaftlich wie möglich zu gestalten.

Zur Erhöhung der Leistungsaufnahme von Natriumdampflampen kann entweder die Bogenlänge des Ent-



Betriebsbereich und Arbeitspunkt A einer 220-W-Natriumdampflampe

Lichtstrom  $\phi$  und Lichtausbeute  $\eta$  in Abhängigkeit von der Leistungsaufnahme  $P_L$  der Lampe

ladungsrohres (bei konstantem Querschnitt) oder (bei konstanter Bogenlänge) der Rohrdurchmesser vergrössert werden. Im ersten Falle wachsen bei konstantem Lampenstrom und Gradienten die Brennspannung und der Lichtstrom proportional mit der Bogenlänge. Die Leistungsaufnahme der Lampe steigt wegen der Abnahme der relativen Elektrodenverluste etwas weniger, so dass die Vergrösserung der Bogenlänge auch eine Erhöhung der Lichtausbeute zur Folge hat. Dieser Weg wurde bei der Entwicklung der 200-W-Lampe in U-Form beschritten. Bei der zweiten, weniger zweckmässigen Lösung muss die Stromstärke erhöht werden, während die Brennspannung abnimmt. Durch den höheren Lampenstrom treten aber höhere Elektrodenverluste auf. Ausserdem wächst der Querschnitt stärker als der Lampenstrom, so dass die Stromdichte in der Entladung abnimmt. Das hat zur Folge, dass der Lichtstrom weniger ansteigt als die Leistung. Dieser Weg ergibt also eine wesentliche Verringerung der Lichtausbeute.

Eine Vermeidung der bei Vergrösserung des Entladungsrohrdurchmessers auftretenden Nachteile bietet das zuerst in England bei der Natriumdampflampe angewendete Prinzip, das bei den als «Power-groove» bezeichneten Leuchtstofflampen seit einiger Zeit benutzt wird [7] (Fig. 4).

Das Entladungsrohr erhält bei diesen Lampen eine Anzahl von aufeinanderfolgenden, jeweils um 180° gegeneinander versetzte Vertiefungen, durch die die Entladung, senkrecht zu der Richtung, in der die Vertiefungen eingedrückt werden gesehen, mäanderförmig geformt wird. Ohne diese Verformungen würde das Rohr bei hohem Lampenstrom und niedriger Brennspannung die in Tabelle II angegebenen relativ ungünstigen Lichtwerte aufweisen. Durch die Dellen (Fig. 4) wird bei wenig veränderter Oberfläche das Verhältnis von Entladungsfläche zu Entladungsvolumen (bez. von Umfang zu Querschnitt) stark vergrössert. Mit der Vergrösserung dieses Verhältnisses tritt in der Entladung eine Änderung einiger charakteristischer Daten ein, die eine wesentliche Erhöhung des Lichtstromes und der Lichtausbeute zur Folge haben:

a) Eine relative Zunahme der Wandverluste durch die kürzeren Diffusionswege der Ladungsträger zu den relativ grössten und einander nähergekommenen Kolbenwänden, damit auch geringere Wahrscheinlichkeit für die Selbstabsorption;

b) Durch die Zunahme der Wandverluste eine Erhöhung der Elektronentemperatur oder -geschwindigkeit bei verringriger Elektronenzahl und damit bessere Anregungsbedingungen;

c) Durch die höhere Elektronentemperatur eine Erhöhung des Spannungsabfalles pro Längeneinheit (Gradient) und damit, und mit der Vergrösserung der effektiven Bogenlänge bei gleichem

Elektrodenabstand, eine Erhöhung der Brennspannung, dadurch bei etwas erhöhter Leistung eine Herabsetzung des Lampenstromes und eine Herabsetzung der Elektrodenverluste.

Durch bessere Anregungsbedingungen, geringere Selbstabsorption und Herabsetzung der Elektrodenverluste wird also ein günstigeres Verhältnis von Lichtstrom zu Leistungsaufnahme erreicht.

Nicht zuletzt bietet das mit Dellen versehene Entladungsrohr den Vorteil der besseren Beherrschung der Natriumwanderung, da die hochgezogenen Teile des Querschnittes nicht direkt von der Entladung geheizt werden. Infolgedessen sind über die ganze Länge verteilt genügend kältere Kondensationszentren vorhanden. Dieser Umstand wirkt sich vorteilhaft auf das Lichtverhalten während der Lebensdauer aus.

Diese Eigenschaften der Lampen mit verformtem Querschnitt bieten auch die Möglichkeit, Natrium-dampflampen höherer Leistungen mit hoher Lichtausbeute zu entwickeln, ohne das Entladungsvolumen und die Lampen wesentlich zu vergrössern.

Gegenüberstellung zweier Lampen mit glattem und verformtem Entladungsrohr (Fig. 4) bei sonst vollkommen gleichem Aufbau

Tabelle II

	Einheit	Glattes Rohr	Dellen-Rohr
Entladungsrohrdurchmesser, innen . . . . .	mm	24,5	24,5
Lichte Weite unter den Dellen . . . . .	mm	—	9,5
Anzahl der Dellen . . . . .	—	—	14
Elektrodenabstand . . . . .	mm	1 020	1 020
Effektive Bogenlänge . . . . .	mm	1 020	1 137
Lampenleistung . . . . .	W	210	220
Lampenstrom . . . . .	A	2,1	1,5
Lampenspannung . . . . .	V	105	160
Lichtstrom . . . . .	lm	21 800	26 500
Lichtausbeute . . . . .	lm/W	104	120
Mittlerer Entladungsquerschnitt . . . . .	cm <sup>2</sup>	4,7	2,4
Mittlere Stromdichte . . . . .	A/cm <sup>2</sup>	0,45	0,62
Entladungsvolumen . . . . .	cm <sup>3</sup>	480	315
Entladungsrohroberfläche . . . . .	cm <sup>2</sup>	865	925
Entladungsrohroberfläche / Entladungsvolumen . . . . .	cm <sup>-1</sup>	1,8	2,94
Mittlere Entladungsrohroberflächenbelastung . . . . .	W/cm <sup>2</sup>	0,24	0,24
Mittlere Entladungsrohrvolumenbelastung . . . . .	W/cm <sup>3</sup>	0,44	0,70
Mittlerer Lichtstrom/cm <sup>2</sup> . . . . .	lm	25	29
Mittlerer Lichtstrom/cm <sup>3</sup> . . . . .	lm	45	84

Durch Verbesserung der Wärmeisolation lässt sich der Wirkungsgrad einer Natriumdampflampe ebenfalls verbessern, wenn eine Reduzierung des Lichtstromes in Kauf genommen werden kann. Bei allen in den letzten Jahren verbesserten und entwickelten Lampen bilden an Stelle der früher üblichen Wärmeisolation in Form eines Dewargefäßes Entladungsrohr und Wärmeschutzgefäß eine Einheit (Fig. 5); die Anzahl der Glasrohre wurde zwar beibehalten, die Zwischenräume werden aber beide evakuiert, so dass das dem Entladungsrohr nächste Rohr nur durch Strahlung aufgeheizt wird und dadurch weniger Wärme nach aussen abgibt. Die Wirksamkeit dieser Massnahme zeigt die Tabelle I in den Unterschieden zwischen den Dewargefäßlampen und den Lampen mit angeschmolzenem Wärmeschutzrohr. Bei einer genügend langen Lampe mit grosser Brenneroberfläche kann auch ein zweites Wärmeschutzrohr, ausser dem Aussenkolben, noch eine wesentliche Verbesserung der Lichtausbeute bringen, wie das Beispiel der Na 220 W in Stabform zeigt. Bei

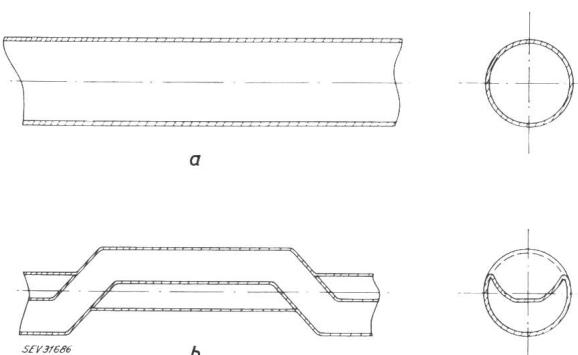


Fig. 4

Glattes (a) und verformtes (b) Entladungsrohr

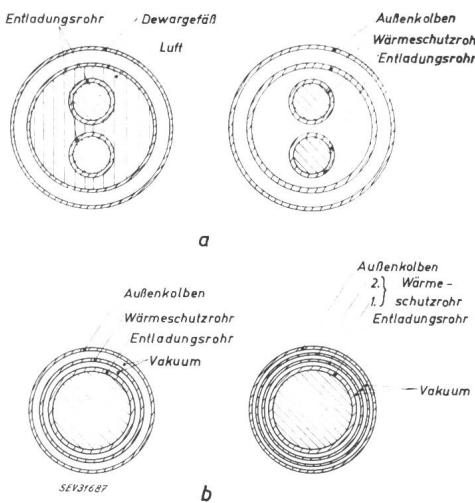


Fig. 5  
Wärmeisolation von Natriumdampflampen  
a U-Lampen; b Stablampen

mit einem und mit zwei Wärmeschutzrohren betriebenen Entladungsrohren ergaben sich durch Hinzufügen des zweiten Wärmeschutzrohres Änderungen der Lampendaten nach Tabelle III:

*Änderungen der Lampendaten einer stabförmigen Natriumlampe durch Hinzufügen eines zweiten Wärmeschutzrohres*

Tabelle III

Lampendaten	Änderung
Brennspannung . . . . .	— 7 %
Stromstärke . . . . .	— 18 %
Leistung . . . . .	— 25 %
Lichtstrom . . . . .	— 16 %
Lichtausbeute . . . . .	+ 10 %

Die Wärmeschutzrohre absorbieren zu etwa 80 % die Temperaturstrahlung der Entladungsrohrwandung (Wellenlänge  $\approx 5 \mu\text{m}$ ), weniger als 10 % werden an den Glasoberflächen direkt reflektiert. Die Wärmeschutzrohre werden dadurch aufgeheizt und strahlen ihrerseits im infraroten Spektralgebiet (zwischen 5 und 7  $\mu\text{m}$ ) wieder etwa je 50 % nach innen und nach aussen. Mit der Anzahl der Wärmeschutzrohre wächst somit der insgesamt auf das Entladungsrohr zurückgeworfene Energieanteil und gleichzeitig sinkt bei gutem Vakuum in den Zwischenräumen die Temperatur des Außenkolbens im Beispiel der Tabelle III um etwa 10 °C, so dass auch dort weniger Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Damit sinkt auch der Leistungsbedarf der Lampe zum Erreichen der Betriebstemperatur (bzw. des optimalen Na-Dampfdruckes). Gleichzeitig sinkt die Stromdichte in der Entladung bei gleichbleibendem Dampfdruck und schwächt den Lichtstrom, begünstigt aber die Lichtausbeute. Da ausserdem noch Lichtverluste am und im zusätzlichen Wärmeschutzrohr auftreten, nimmt der Ausbeutegewinn mit der Anzahl der Wärmeschutzrohre stark ab. So würde bei dem erwähnten Beispiel ein drittes Wärmeschutzrohr nur noch einen Ausbeutegewinn von weniger als 5 % bringen. Ausserdem steigt mit der Anzahl der Wärmeschutzrohre die Anlaufzeit der Lampen.

Einen gewissen Einfluss auf den Lichtstrom und die Lichtausbeute einer Natriumdampflampe hat die Grundgasfüllung. Eine Grundgasfüllung ist notwendig, um eine Zündung der Entladung zu ermöglichen, da der Natriumdampfdruck bei 20 °C in der Grössenordnung von  $10^{-11}$  Torr liegt; weiterhin, um die Erwärmung der Lampen bis zur Betriebstemperatur zu er-

möglichen und um die freie Weglänge der Elektronen zu verkleinern. Bei dem Natriumdampfdruck in einer eingebauten Lampe, der bei  $5 \cdot 10^{-3}$  Torr liegt, ist die mittlere freie Weglänge noch zu gross, um einen hohen Lichtstrom zu erzeugen. Durch die Füllung des Entladungsrohres mit einem Edelgas oder einem Edelgasgemisch kann der Weg der Elektronen in der Entladung gegenüber dem Weg in Feldrichtung vergrössert und damit die Wahrscheinlichkeit für die Anregung eines Natriumatoms erhöht werden. Die Atome der Grundgase sind ausserdem noch durch ihre metastabilen Zustände von Bedeutung, mit denen sie durch Stöße 2. Art Na-Atome anregen können. Auch der Fülldruck des Grundgases könnte zur Erzeugung einer möglichst hohen Lichtausbeute im Sinne einer optimalen freien Weglänge gewählt werden, jedoch stehen bei der Wahl des Fülldruckes und der Gaszusammensetzung die Erfordernisse der Betriebs- und Zündsicherheit im Vordergrund. Die Zusammensetzung des Grundgasgemisches ist in erster Linie auf die Erniedrigung der Zündspannung durch den Penning-Effekt abgestimmt. Bei der Na 220 W ist aus Gründen der Betriebssicherheit ein Xenon-Zusatz dem üblichen Ne-Ar-Gemisch beigefügt, um die Veränderungen von Lampenstrom und -spannung während des Anlaufens klein zu halten. Die Zusammensetzung und der Druck des Füllgases werden durch das Gasaufzehrungsvermögen des verwendeten Glases mitbestimmt. Bei zu niedrigem Fülldruck wird der geringe Prozentsatz der zündspannungsniedrigenden bzw. die Betriebssicherheit gewährleistenden Anteile Ar und Xe so schnell aufgezehrt, dass die Lampen vorzeitig durch Ansteigen der Zündspannung ausfallen.

### 3. Die Natriumdampflampe Na 220 W

Die Natriumdampflampe Na 220 W ist mit einer Sockellänge von  $1200^{+0}_{-6}$  mm und einem Aussendurchmesser von 41...42 mm weitgehend der äusseren Form der Leuchttstofflampen angepasst und auch mit Leuchttstofflampensockeln versehen. Die leuchtende Lampenlänge beträgt 1020 mm. Die Lampe ist mit einer Drosselpule als Vorschaltgerät und einem Thermostarter zur Zündung der Lampe an 380-V-Wechselspannung zu betreiben (Fig. 6). Ein Betrieb an 220 V Wechselspannung mit einem Streufeldtransformator als Vorschaltgerät und Starterzündung ist ebenfalls möglich, setzt aber die Wirtschaftlichkeit der Anlage etwas herab. Das Entladungsrohr ist mit heizbaren Leuchttstofflampenwendeln ausgerüstet; die Zündzeit beträgt bei einem Heizstrom zwischen 1,6 und 1,7 A etwa 5...7 s. Die Wiederzündzeit beträgt, bedingt durch Starter-eigenschaften, 40...60 s. Eine Zündung ohne Elektrodenheizung wie bei den Na-Lampen in U-Form ist wegen der dadurch bedingten hohen Zündspannung nicht vorgesehen. Der Lampenstrom, der bei Drossel-

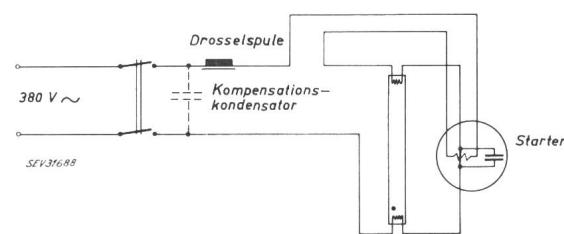


Fig. 6  
Schaltung einer Natriumdampflampe Na 220 W

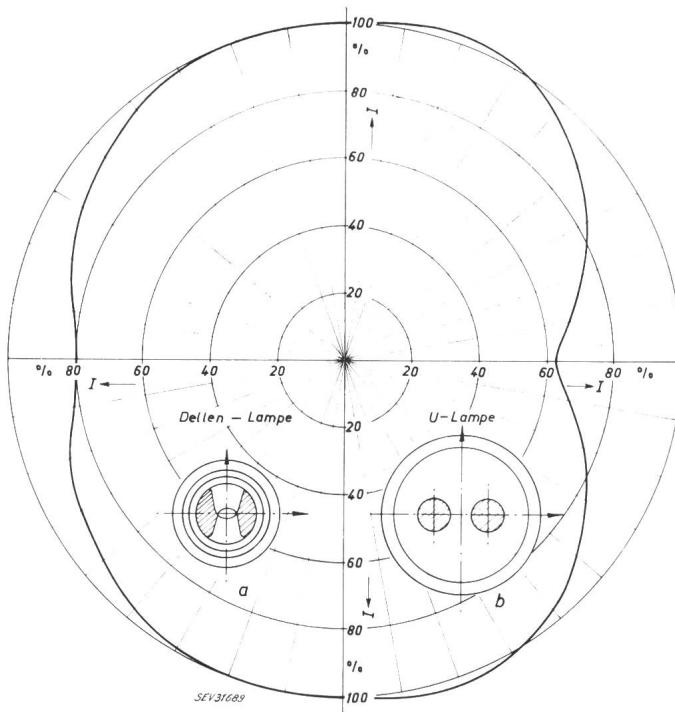


Fig. 7  
Lichtstärkeverteilung einer Na 220 W in Stabform (a)  
im Vergleich mit einer Na 200 W in U-Form (b)

spule-Starter-Betrieb gleich der Stromaufnahme der ganzen Anlage ist, beträgt 1,45 A, die Lampenspannung  $165 \pm 10$  V. Die Leistungsaufnahme der Lampe nach 100 h, d. h. in gut eingebrauntem Zustand, liegt bei 210...230 W. Bei diesen Daten liefert die Lampe einen Lichtstrom von 25 000...27 000 lm und eine Lichtausbeute von 115...125 lm/W.

Durch die Starterzündung bei vorgeheizten Elektroden und Ausnützung der im Dreiphasennetz vorhandenen Spannung von 380 V ist es möglich, die Lampe ohne ein spannungserhöhendes Vorschaltgerät zu zünden und zu betreiben. Die Verluste der Drosselspule sind mit je nach Bauart 27...40 W um etwa 10 W geringer als die Verluste eines Streufeldtransformators für die gleiche Lampenleistung. Da auch die Verluste der Starterwendel nur knapp 2 W betragen, ergibt sich ein Anlagenwirkungsgrad von 105 lm/W (bei Drosselspulenverlusten von 27 W). In Tabelle IV sind die Daten der Na 220 W nach 100 Stunden Brenndauer denen

Neuere Natriumdampflampen mit Leistungsaufnahmen  
von 200...220 W

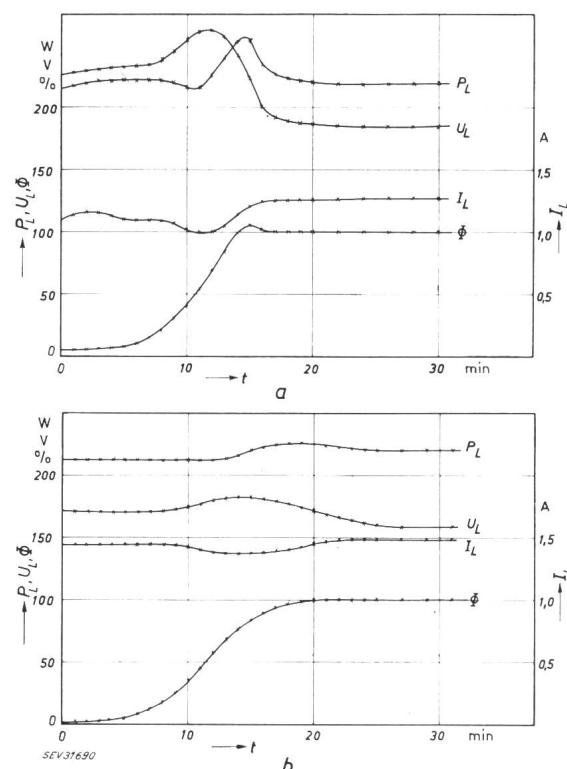
Tabelle IV

	Einheit	Na 200 W	Na 220 W
Entladungsrohrform . . . . .		U	gerade Stabform
Lampenlänge . . . . .	mm	785	1 200
Lampendurchmesser . . . . .	mm	60	42
Leuchtende Lampenlänge . . . . .	mm	640	1 020
Elektrodenabstand . . . . .	mm	1 300	1 020
Lampenleistung . . . . .	W	205	220
Lampenstrom . . . . .	A	0,9	1,45
Lampenspannung . . . . .	V	250	165
Netzspannung . . . . .	V	220	380
Leerlaufspannung . . . . .	V	660	380
Heizstrom . . . . .	A	—	1,65
Lichtstrom . . . . .	lm	21 500	26 000
Lichtausbeute . . . . .	lm/W	107	118
Anlagenausbeute . . . . .	lm/W	90	105
Leuchtdichte . . . . .	sb	14	14
Lichtstrom/cm leuchtender Lampenlänge . . . . .	lm	335	260
Leistung/cm leuchtender Lampenlänge . . . . .	W	3,2	2,2

der Natriumdampflampen in U-Form mit einer Leistung um 200 W gegenübergestellt. In Fig. 7 wird die Lichtstärkeverteilung der Na 220 W mit der einer U-Lampe verglichen. Daraus ergibt sich die Forderung nach einer bestimmten Brennlage der Na 220 W, um die Bereiche der grössten Lichtstärke in die richtige Ebene zu bringen. Die Lichtstärkeverteilung der Na 220 W gestattet auch für diese Lampe den Bau einer Leuchte mit gutem Wirkungsgrad und guter Ausleuchtung [2]. Die Brennlage der Lampe ist waagrecht mit einer zulässigen Abweichung von  $\pm 20^\circ$ .

#### 4. Betriebsverhalten

Nach erfolgter Zündung benötigt eine Natriumdampflampe bei normaler Umgebungstemperatur (20...25 °C) eine gewisse Zeit, ehe die Lampe die notwendige Temperatur erreicht hat und in Temperaturgleichgewicht mit der Umgebung ist. Die Zeit bis zum Erreichen von 80 % des Endwertes des Lichtstromes wird als Anlaufzeit bezeichnet. In Fig. 8 ist der Anlauf einer Na 220 W wiedergegeben. Die Anlaufzeit beträgt bei Normalspannung 15...20 min, bei Unter- bzw. Überspannung erhöht bzw. erniedrigt sie sich. Die Extremwerte von Lampenstrom und -spannung sowie -leistung während des Anlaufes sind in ihrer Höhe und zeitlichen Lage durch die Zusammensetzung der Grundgasmischung beeinflussbar, wie der Vergleich zweier Lampen mit 0,2 % und 0,4 % Xe zeigt. Von besonderer Bedeutung für die Betriebssicherheit der Lampe sind die Höhe des Brennspannungsmaximums und der Wert des Stromminimums. Die maximale Spannung ist im Hinblick auf die Leerlaufspannung der Na 220 W von Bedeutung. Die Stromstärke im Minimum darf ebenfalls nicht zu klein werden, da der



Anlaufverhalten von Natriumdampflampen in Stabform  
Lampenleistung  $P_L$ , Lampenspannung  $U_L$ , Lampenstrom  $I_L$  und  
Lichtstrom  $\Phi$  in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  nach dem Einschalten der Lampe  
a Ne + 0,8 % Ar + 0,2 % Xe; b Ne + 0,8 % Ar + 0,4 % Xe

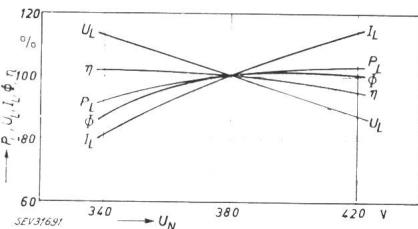


Fig. 9

#### Netzspannungsabhängigkeit einer Na 220 W

Lampenleistung  $P_L$ , Lampenspannung  $U_L$ , Lampenstrom  $I_L$ , Lichtstrom  $\phi$  und Lampenlichtausbeute  $\eta$  in Abhängigkeit von der Netzspannung  $U_N$

Starter nur innerhalb eines gewissen Strombereiches arbeitet. Er zündet die Lampe bei einem Kurzschlussstrom von 1,6...1,7 A und bleibt bis zu einem Strom von 0,9 A geöffnet. Die Anlaufcharakteristik ändert sich im Laufe der Lebensdauer, und zwar im Sinne einer Vergrößerung der beiden Extremwerte. Durch den grossen Xenon-Zusatz von 0,4 % ist jedoch für möglichst geringe Ausbildung der Extremwerte bei hohem Lampenstrom und niedriger Lampenspannung gesorgt worden. Die Änderungen der Anlaufkurve mit der Lebensdauer lassen den Schluss zu, dass von den Glaswänden des Entladungsrohres auch Xenon aufgezehrt wird.

In Fig. 9 ist die Netzspannungsabhängigkeit einer Na 220 W wiedergegeben. Wie bei allen Na-Lampen hängt der Lichtstrom nur sehr wenig von der Netzspannung ab. Durch den Betrieb an zwei Phasen bei 380 V ist jedoch die Wahrscheinlichkeit von Unterspannungen geringer als bei Einphasenbetrieb.

Die Abhängigkeit einer frei brennenden Na 220 W von der Umgebungstemperatur ist in Fig. 10 aufgetragen. Die Betriebssicherheit ist wegen der geringen Änderungen von Mindeststrom und Maximalspannung im Temperaturbereich von -40...+100 °C gewährleistet. Die Anlaufzeiten ändern sich in dem genannten Temperaturbereich um etwa + 25...- 25 %.

Bei Untersuchungen der Na 220 W in Leuchtstoff-Lampenleuchten entsprach das Verhalten der Lampe etwa dem bei einer mittleren Umgebungstemperatur von 80 °C. Fig. 10 zeigt, dass bei dieser Temperatur die lichttechnischen Eigenschaften der Lampe eher noch verbessert als verschlechtert werden. Der Unterschied zur Normaltemperatur ist jedoch so gering, dass es sich als nicht lohnend erscheint, die Lampe von vornherein auf diesen Zustand einzustellen.

Parallel zur Lampe liegt der Starterkondensator, der eine Grösse von 0,033 µF hat. Ohne Kondensator ist der Starter nicht in der Lage, die Lampe durchzuzünden. Der Kondensator mit der Drosselspule wirkt als Reihenschwingkreis und bei Öffnung des Starters wird die Lampe durch die entstehende gedämpfte Schwingung mehrere Male kurz hintereinander durch-

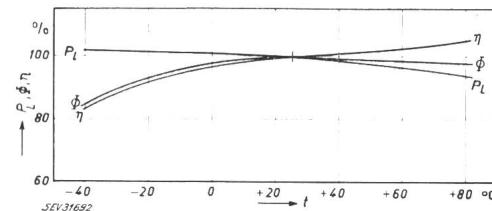


Fig. 10

#### Abhängigkeit einer Na 220 W von der Umgebungstemperatur

Lampenleistung  $P_L$ , Lichtstrom  $\phi$  und Lampenlichtausbeute  $\eta$  in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur  $t$

gezündet. Ohne den Kondensator ist praktisch nur ein einziger Impuls oder eine sehr stark gedämpfte Schwingung zu beobachten. Aber auch auf die Betriebssicherheit der Lampe hat der Starterkondensator wegen der relativ geringen Leerlaufspannung einen gewissen Einfluss. Es werden dadurch sowohl Anlauf- als auch Betriebsdaten beeinflusst. Bei Betrieb ohne Kondensator wird durch die stärkere Ausbildung des Stromminimums die Betriebssicherheit der Lampe herabgesetzt, ausserdem verlängert sich wegen der geringeren Leistungsaufnahme während des Anlaufs die Anlaufzeit wesentlich.

Im Laufe der Lebensdauer zeigte die Na 220 W nur eine geringe Lichtstromabnahme, da durch entsprechende Formung des Entladungsquerschnittes und des Brenneraufbaues eine Natriumverarmung in Elektrodennähe verhindert wird und damit eine bei anderen Na-Lampen mögliche Lichtabnahme ausgeschaltet ist. Die mittlere Lebensdauer beträgt 5000 h. Nach dieser Zeit liegt der Lichtstrom im Mittel bei 85...90 % des Anfangswertes. Die Lichtausbeute geht auf etwa 80 % zurück, da sich die Leistungsaufnahme nach 5000 h um etwa 15 % erhöht hat.

Na-Lampen nach diesem Prinzip können ohne Schwierigkeiten auch mit grösseren oder kleineren Leistungsaufnahmen als 220 W hergestellt werden.

#### Literatur

- [1] Weston, R. F.: High Output Sodium Lamps. Electr. Times 135(1959)3521, S. 719...722.
- [2] Lambert, G. K.: Potential Application of the Linear Sodium Lamp to Street Lighting. Light & Lighting 52(1959)10, S. 292...297.
- [3] Anonym: Wirtschaftliche Natriumdampflampe. Lichtwerbung —(1962), April, S. 115.
- [4] Uyterhoeven, W.: Elektrische Gasentladungslampen. Berlin: Springer 1938.
- [5] Iwanow, A. P.: Elektrische Lichtquellen. Gasentladungslampen. Berlin: Akademie-Verl. 1955.
- [6] Pirani, M.: Technische Verfahren im Lichte der neuzeitlichen Atomvorstellung, Atomphysik und Lichterzeugung. Z. techn. Phys. 11(1930)11, S. 482...486.
- [7] Aicher, J. O. und E. Lemmers: Design and Characteristics of Fluorescent Lamps Having a Non-Circular Cross Section. Illum. Engng. 52(1957)11, S. 579...584.

#### Adresse der Autoren:

Dipl.-Ing. H. J. Gebhardt und Dr. rer. nat. B. Kühl, Osram GmbH, Entwicklungsstelle für Entladungslampen, Berlin (Deutschland).

## Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

### Sitzungen des SC 53D vom 12. Oktober 1962 in Paris

Am 12. Oktober 1962 fand in Paris im Zusammenhang mit einer grösseren Tagung der ISO (International Organization for Standardization) eine Sitzung des SC (Sous-Comité) 53D, Calculateurs et traitement de l'information — Supports d'entrée/sortie, statt. Der Zusammenhang ist gegeben durch die Tatsache, dass die Arbeitsgruppe D des TC 97 und die Arbeitsgruppe H des

TC 95 der ISO analoge Probleme behandeln wie das SC 53D der CEI.

Nachdem seinerzeit in Bukarest einem Comité Directeur ISO/CEI die Vollmacht überlassen wurde, gemischte Arbeitsgruppen zu bilden, war unter anderem als Diskussionsthema für die Sitzung vom 12. Oktober 1962 neben zwei rein technischen