

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 60 (1969)
Heft: 22

Artikel: Erfahrungen mit einer Halogenglühlampe 6.6 A, 200 W, für Landepistenbefeuerung
Autor: Mäder, F. / Biffiger, J. / Res, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916189>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 16.03.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

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

Erfahrungen mit einer Halogenglühlampe 6,6 A, 200 W, für Landepistenbefahrung

Von F. Mäder, M. Res und J. Biffiger, Wabern/Bern

235 - 241

621.326.72:628.971.8

Es werden die beim Betrieb einer Halogenglühlampe 6,6 A, 200 W, in einer Kleinstleuchte gewonnenen Erfahrungen beschrieben. Neben Temperaturmessungen an der Lampe in der Leuchte bei variierten Licht-, Wärme- und elektrischen Betriebswerten werden auch einige Erkenntnisse über Bruch in der Verschmelzung, Kontaktschäden, Kristallisation an der Wendel, Wendelverzerrung und Drahtverjüngung anhand von Abbildungen kommentiert.

On décrit les expériences acquises lors de l'exploitation de lampes à incandescence à halogènes 6,6 A, 200 W dans un luminaire-miniature. En plus des mesures de température effectuées à la lampe et au luminaire à des conditions de lumière, de chaleur et d'exploitation variées, on commente également à l'aide d'illustrations quelques notions relatives à la rupture dans la fusion, aux défauts aux contacts et à la cristallisation, à la distorsion et à la diminution des filaments.

1. Einleitung

Im Zusammenhang mit einem grösseren Prüfauftrag hatte das Eidg. Amt für Mass und Gewicht die Betriebsbedingungen einer in der Schweiz entwickelten Kleinstleuchte zu untersuchen. Das abgeschlossene Lampengehäuse hat einen Inhalt von etwa 645 cm³, und die Bestückung bestand aus einer Halogenglühlampe (6,6 A, 200 W). Eine nähere Beschreibung der Lampe findet sich bei W. Schilling [1]¹⁾ und J. A. Moore und C. M. Jolly [2].

Veranlasst wurde die Prüfung durch besondere Fehler der ausgefallenen Lampen. Als Grund der Lampenausfälle mussten vor allem die ungünstigen Temperaturverhältnisse in der Leuchte und Lampe angesehen werden. Da die Halogenglühlampe auf dem Gebiete der Lichtquellen zu den jüngsten Entwicklungen zählt, mögen die hier beschriebenen Ergebnisse nicht nur der Leuchtenkonstruktion, sondern auch der Lampenfertigung weitere Anregung bringen.

2. Versuche im Laboratorium

2.1 Zum Programm der Experimente

Da die Lampen aus lichttechnischen Gründen nicht nur mit dem Nennwert 6,6 A, 200 W, betrieben wurden, mussten die Versuche bei verschiedenen Belastungen der Lampe durchgeführt werden. In der Praxis hatte man vor allem das bei verschiedenen Umgebungsverhältnissen notwendige Licht zum Betriebsmaßstab für die Lampen gewählt. Die Lampen brannten vom Oktober 1968 bis zum Januar 1969 mit folgenden Lichtstärken I , angegeben in % der Lichtstärke bei vorschriftsmässigem Betrieb I_V :

$I/I_V \times 100\%$	Stunden
1	760
3	400
30	151

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

$I/I_V \times 100\%$	Stunden
40	55
100	400

Kurzzeitig wurden sie auch bei 200 % betrieben. Diese variierten Lichtstärken mussten elektrische und thermische Betriebsschwankungen mit sich bringen und damit die Lebensdauer beeinflussen. Auf Grund des praktischen Betriebes wurde das Versuchsprogramm folgendermassen aufgestellt:

Es sollen die Lichtstärkenverhältnisse ($I/I_V \times 100\%$) 5, 30, 50, 70, 100 und 200 % eingestellt und die zugehörigen Lampenströme gemessen werden. Weiter wurde eine Temperaturmessung an der brennenden Halogenlampe vorbereitet. Dazu dienten Thermoelemente von 0,5 mm Durchmesser. Sie wurden an den aus Fig. 1 ersichtlichen Meßstellen angebracht. Die Meßstellen 1, 2, 3 dienen zur Erörterung der Wandungstemperatur, die Stellen 3 und 4 der Temperaturermittlung an der Verschmelzung 5 und die Stelle 4 zur Temperaturbestimmung an der Stromzuführung von aussen. Ausserdem wurde noch die Wendeltemperatur mit Hilfe eines optischen Pyrometers und eines Farbtemperaturmessgerätes ermittelt.

2.2 Die Lichtstärke in Abhängigkeit vom Lampenstrom

Die Lampen wurden mit Hilfe einer Photozelle auf die gewählten Lichtstärken eingestellt. Die dazu erforderlichen Lampenströme konnten mit einem Kompensator gemessen werden. Die ermittelten Werte sind in Tabelle I eingetragen.

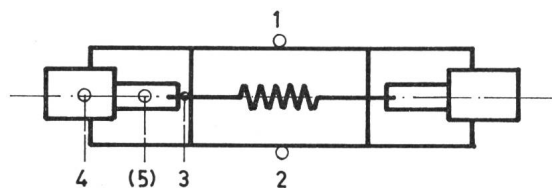


Fig. 1
Halogenglühlampe 6,6 A, 200 W, mit Meßstellen (1...5)

Lichtstärke und Wendeltemperatur in Abhängigkeit vom Lampenstrom
Tabelle I

Strom A	Maximale Lichtstärke der Leuchte cd	$I/I_v \times 100$ %	Wendel- temperatur °C	Gemessen mit
7,52	38 800	200	3020	Farbtemperatur- messgerät und umgerechnet aus der Farbtemperatur
6,6	19 400	100	2740	
6,16	13 580	70	2640	
5,8	9 700	50	2370	Pyrometer-Durch- schnitt aus 10 Messungen
5,33	5 820	30	2220	
4,09	970	5	1880	

Hier sind auch die mit optischem Pyrometer und Farbtemperaturmessgerät festgestellten Wendeltemperaturen verzeichnet.

2.3 Betriebstemperaturen an der Lampe

Der Grund den Wärmemessungen aussergewöhnliches Interesse zu widmen, ist vor allem in den in der Literatur und Prüfvorschriften für Halogenleuchtampen als wichtig bezeichneten Betriebstemperaturen zu suchen. Man kann das Temperaturproblem in zwei Hauptfragen einteilen. Die eine befasst sich mit den für den Halogenkreisprozess wichtigen Wandungs-

Temperatursollwerte für eine Halogenleuchtampe 6,6 A, 200 W
Tabelle II

Betrifft	Temperatur °C
Temperatur der Wandung beim Halogenkreisprozess	min 250 Sollwert 600 max 900...1000
Temperatur für $W + 2J \rightarrow WJ_2$ Temperatur für $WJ_2 \rightarrow W + 2J$ WJ_2 geht zum Ausgangsprodukt zurück bei einer Wendeltemperatur von	Sollwert 250...1400 > 1400 3000
Das chemische Gleichgewicht liegt auf Seite des Wolframbromides bei der Wandungstemperatur von auf Seite der Zerfallprodukte bei der Wendeltemperatur von	527...727 ≈ 2727
Beim Jodsauerstoffzyklus reagiert Wolfram mit Sauerstoff unter Bildung von Wolframoxyd in der Nähe des Glühfadens bei der Temperatur von	≈ 2727
Wolfram verdampft merklich bei Wolframschmelzpunkt bei	2200 3400 \pm 50
Wolframtransport von heissen nach weniger heissen Stellen (bei Anwesenheit von wenig Wasserdampf) erfolgt bei einer Fadentemperatur von	2227
Höchste Wendeltemperatur beim Halogenkreisprozess — Niedervoltlampen z. B. 12 V, 150 W, mit einer Lebensdauer unter 100 h	≈ 3280
Temperatur der Verschmelzung (Fig. 1)	max 343
Temperatur der Stromzuführung und Wendelhalterung im Lampeninneren (Fig. 1)	min 250
Temperatur der Stromzuführung von aussen an der Mo-Folie bei einer Lebensdauer von 15 h von 2000 h	max 450 max 300
Temperatur der Stromzuführung ausserhalb der Lampe bei einer Lebensdauer bis 50 h	max 180

Stromzuführungs- und Wendeltemperaturen, die andere macht auf die Gefahr zu hoher, zum vorzeitigen Lampentod führender Temperaturen der Lampenbestandteile aufmerksam. Jedenfalls sollte man die beim Halogenlampenbetrieb herrschenden Wärmeverhältnisse kennen, um den temperaturbedingten Schwierigkeiten begegnen zu können. In Tabelle II sind die Werte angegeben, die nach der Literatur und den Betriebsvorschriften eingehalten werden sollten.

Wie aus Tabelle II ersichtlich ist, sind die hier zusammengefassten Temperaturbereiche noch nicht derart begrenzt, dass der Leuchtenbauer durch striktes Einhalten der empfohlenen Werte die besten Bedingungen für die längste Lampenlebensdauer schaffen kann.

Zurück zu den eigenen Messungen gehend, ist noch das Programm der Wärmemessungen zu besprechen. Da die erwähnten Halogenleuchtampen 6,6 A, 200 W, in der Praxis auf verschiedene Weise betrieben wurden, musste auch ein entsprechendes Prüfprogramm gewählt werden. Vorerst wurden die Lampen mit einem in Tabelle I angeführten Stromwert ca. 10 min betrieben, wobei nach 3 und 10 min die Temperaturmessungen erfolgten. Danach wurden die Lampen abgeschaltet, bei Umgebungstemperatur abgekühlt und nachher bei einem weiteren Stromwert eingeschaltet. Der Anfang der Messungen erfolgte bei einem Strom von 6,6 A, um damit eine unerwünschte Wolframrekristallisation bei den neu in Betrieb genommenen Lampen zu vermeiden. Die gemessenen Werte sind in Tabelle III zusammengestellt. Weiter erfolgten die

Temperaturwerte bei unterbrochenem Lampenbetrieb
gemessen in der Leuchte
Tabelle III

Meßstelle gemäss Fig. 1	Gemessen nach Minuten	Temperaturen in °C bei einem Strom von					
		7,52 A	6,6 A	6,16 A	5,8 A	5,33 A	4,09 A
1	3	900 ¹⁾	791	722	675	610	447
	10	—	791	731	683	618	453
2	3	808 ¹⁾	676	623	571	502	343
	10	—	690	637	582	511	349
3	3	569 ¹⁾	562	508	464	418	287
	10	—	570	524	480	424	296
4	3	310 ¹⁾	264	253	225	190	129
	10	—	292	275	246	211	141

¹⁾ Ausgehend von 6,6 A innert 3 min nach Umschaltung auf 7,52 A gemessener Wert.

Temperaturmessungen bei kontinuierlich gespeisten Lampen, ausgehend von den niedrigsten Stromwerten. Die Umschaltung auf die nächsthöheren Stromwerte erfolgte ohne Betriebsunterbrechung. Die so gemessenen Werte sind in Tabelle IV zusammengestellt. Aus Vergleichsgründen (mit Tabelle III) ist die Zeit im umgekehrten Sinne angeführt.

Für die wichtige, auf Fig. 1 mit (5) bezeichnete Verschmelzung wurden die Werte als Mitteltemperatur zwischen den Meßstellen 3 und 4 ermittelt. Es wurden dabei die Höchst- und Mindestwerte aus Tabelle III und IV zum Ausgangspunkt herangezogen. Die für die Meßstelle 5 abgeschätzten Werte sind aus Tabelle V ersichtlich.

Obwohl die Temperaturen der Meßstelle (5) aus den Werten der Meßstellen 3 und 4 berechnet sind, können sie als einigermaßen zuverlässig angesehen werden. Die für die Verschmelzung als gefährlich angesehene Temperatur von max 343 °C ist in der Betriebsvorschrift nicht räumlich begrenzt. Man kann sich unter dem Begriff Verschmelzung verschiedene Vorstellungen machen. In dem hier beschriebenen Fall ist darunter die

Meßstelle gemäss Fig. 1	Temperaturen in °C bei einem Strom von					
	7,52 A um 8.30 h	6,6 A um 8.25 h	6,16 A um 8.20 h	5,8 A um 8.15 h	5,33 A um 8.10 h	4,09 A um 8.00 h
1	901	785	728	679	613	445
2	811	700	635	583	514	346
3	667	577	523	480	423	289
4	344	316	280	253	217	135
1	787...791 ¹⁾		¹⁾ Die Lampe brannte noch weitere 2 h 40 min bei 6,6 A. Die dabei gemessenen Tempe- raturen schwankten nur wenig.			
2	706...711 ¹⁾					
3	589...594 ¹⁾					
4	326...334 ¹⁾					

in Quarzglas eingeschlossene Mo-Folie gemeint. Die Entfernung des zum Lampeninneren gewendeten Mo-Folienendes von der Meßstelle 3 beträgt etwa 3 mm, von der Meßstelle 4 etwa 11 mm (s. Fig. 1). Diese Abmessungen dienen nur zur besseren Übersicht der durchgeführten Messungen. Eine Anordnung, die die Meßstelle 3 auf (5) verlegt hätte (s. Fig. 1), war wegen dem Interesse an den Stellen 3 und 4 nicht vorgesehen, dürfte aber, falls erforderlich, ohne Schwierigkeiten verwirklicht werden. Jedenfalls ist das zum Lampeninneren gewendete Mo-Folienende zur temperaturgefährdeten Verschmelzung zu rechnen.

Um die gemessenen Werte mit den in der Literatur und Betriebsvorschriften angeführten vergleichen zu können, sind alle kritischen Temperaturen in Tabelle VI zusammengestellt.

Die beim Betrieb der Halogenglühlampe, Typ 6,6 A, 200 W, in der geprüften Leuchte erhaltenen Vergleichswerte würden folgende Annahmen rechtfertigen:

Betreffend die Lampenbestandteile und die Verschmelzung wäre der Betrieb am günstigsten bei

4,09...5,33 A
(kurzzeitig bei 5,80 A)

Betreffend Aufrechterhaltung des Halogenkreisprozesses wäre für die Lampenwandung der Betrieb am geeignetsten bei

5,80 A²⁾

Die zur Erreichung des Gleichgewichtes auf Seite der Zerfallprodukte notwendige Wendeltemperatur 2727...3000 °C wird erreicht bei

6,60...7,52 A

Der hier sichtbare Widerspruch, entweder die Lampen in der geprüften Leuchte bei niedrigem Strom zu betreiben, um die Lampenbestandteile nicht durch hohe Temperaturen zu überlasten, oder ohne Rücksicht darauf zu nehmen, die dem Halogenkreisprozess erforderlichen hohen Temperaturen zu gewährleisten, ist beim Einsatz von Niederleistungshalogenlampen bekannt. So sprechen E. G. Zubler und F. A. Mosby [3] in der Diskussion zu ihrem Artikel darüber, dass trotz einer Temperaturbegrenzung an der Verschmelzungsstelle von höchstens 350 °C eine 150-W-Jodglühlampe als «Wingtype» von

²⁾ Siehe Tabelle VI Sollw. 600 °C und Messwerte der Meßstellen 1+2 aus Tabellen III+IV 571...679 °C.

Temperaturen der Verschmelzung

Tabelle V

Strom A	Temperaturen in °C an					
	Meßstelle 3		Meßstelle 4		Mittlere Werte aus 3 und 4 als Meßstelle (5) bezeichnet	
	min	max	min	max	min	max
7,52	569	667	310	344	439	505
6,6	562	594	264	334	413	464
6,16	508	524	253	280	380	402
5,8	464	480	225	253	345	366
5,33	418	424	190	217	304	320
4,09	287	296	129	141	208	219

den Flugzeugfabriken und deren Kunden unter Bedingungen verwendet wird, unter welchen an dieser Stelle höhere Temperaturen auftreten als 350 °C. Der Grund dafür sei, dass die Verbraucher keine andere ebenbürtige Lichtquelle finden konnten.

3. Beurteilungen

Die nach der ersten Prototypprüfung der Leuchte zur Begutachtung vorgelegten Halogenglühlampen wurden untersucht, um die Ursache des Lampentodes festzustellen. Es wur-

Vergleich zwischen Soll- und gemessenen Werten

Tabelle VI

Betriebsvorschriften	Sollwerte °C	Mess- stelle aus Fig. 1	Betriebs- strom A	Gemessene Temperatur °C
Stromzuführungen von aussen (Lebensdauer bis 50 h)	max 180	4	5,33...7,52	190...334
		4	4,09	129...141
Verschmelzung	< 343	3	5,33...7,52	418...569
		3	4,09	287...296
		(5)	¹⁾ 5,80...7,52	366...505
		(5)	4,09... ²⁾ 5,80	208...345
Aussenwandtemperatur: für Jodzyklus	min 250 Sollw. 600 max 1000	1+2	4,09...7,52	349...901
		1+2	6,16...7,52	623...901
		1+2	5,33...5,80	502...675
		1+2	4,09	343...447
für Halogenzyklus (Brom, Jod) Gleichgewicht auf Seite des Wolframhalogenides	527...727	1+2	4,09	343...447
			4,09	343...447
			4,09	343...447
			4,09	343...447
Wendeltemperatur: Gleichgewicht auf Seite der Zerfallprodukte Halogenzyklus Jodzyklus	≈ 2727 3000	Wendel	7,52	3020 ³⁾
			6,60	2740 ³⁾
			6,16	2640 ³⁾
			5,80	2370 ⁴⁾
			5,33	2220 ⁴⁾
			4,09	1880 ⁴⁾

¹⁾ langzeitiger Betrieb.

²⁾ kurzzeitiger Betrieb.

³⁾ umgerechnet aus der Farbtemperatur.

⁴⁾ gemessen mit optischem Pyrometer.

den vor allem drei charakteristische Fehlerquellen beobachtet.

Am häufigsten war ein Bruch in der Verschmelzung über und entlang der Mo-Folie festzustellen. Weiter konnten Kontaktschäden wahrgenommen werden. Zuletzt wurden Lampen mit deutlichen, Kurzschluss hervorrufenden Kristallisationserscheinungen an den Wendeln festgestellt.

Diese drei Ursachen sind für den Lampentod der untersuchten Prüflinge verantwortlich. Daneben konnten noch einige betriebstechnische Erscheinungen festgestellt werden, die zum Lampenende beitragen können. Dies sind unter anderem thermische Strömungen, Wendelverzerrung und Verjüngung des Wolframdrahtes.

3.1 Bruch in der Verschmelzung

Von 61 Lampen wiesen nach dem Ausfall 42 Stück, d. h. 69 %, einen charakteristischen Bruch in der Verschmelzung auf. Der Bruch verlief in Richtung der Lampenachse und war durch Interferenzfarben gekennzeichnet (Fig. 2). Sobald der Bruch die in das Lampeninnere gehende Stromzuführung erreicht, dringt Luft in den aktiven Lampenraum ein. Der Luftsauerstoff beschleunigt den Halogenzyklus und verbindet sich mit dem Wolfram der Wendel zu gelbem WO₃. Es wurde aber auch

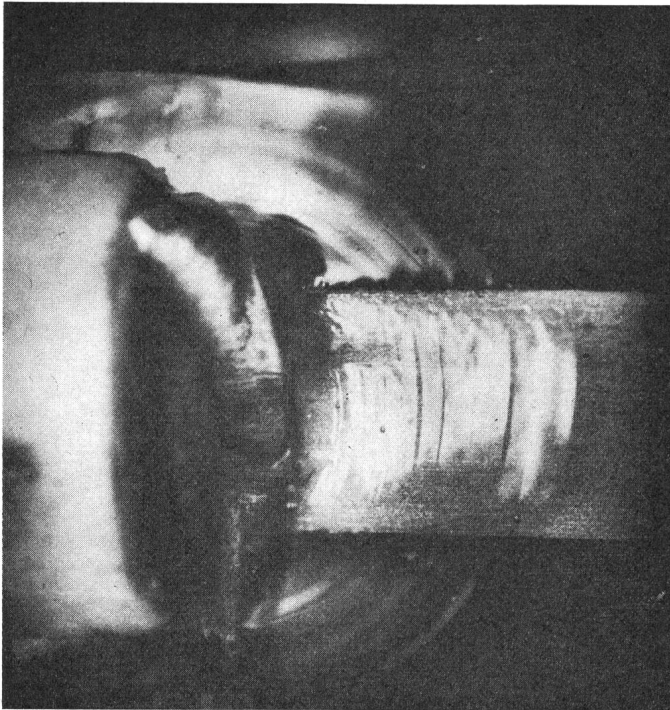


Fig. 2
Bruch in der Verschmelzung

braunes WO_2 gefunden. In einer Jodglühlampe kann auch die Bildung von WO_2JO_2 stattfinden. Bei fortschreitendem Eindringen der Luft schmilzt die Wendel schliesslich durch. Die Erklärung eines solchen Bruches ist in [3] zu finden. Der Schaden entsteht bei überhitzter Verschmelzung. Eine Temperatur von über $350\text{ }^\circ\text{C}$, gemessen am Quarzglas über der Mitte der Mo-Folie oxydiert, und es entsteht eine Vakuumundichtheit. Der Charakter dieses Bruches ist dem Spannungsfeld eines unter Druck stehenden Glases ähnlich. Auch die Interferenzstreifen verlaufen bei dem beschriebenen Bruch ähnlich wie bei einem durch Stoss im Glas hervorgerufenen Muschelbruch. Deshalb ist auch der Druck auf die Lampenkontakte zu beachten. Die gemessene Kraft an den Kontakten der geprüften Leuchte beträgt $3\text{...}4\text{ kp}$ und könnte damit bei der Bruchentstehung mitwirken.

3.2 Fehler an den Kontakten

Die Überprüfung der Kontakte der 61 vorgelegten Lampen ergab, dass über 50 % der Prüflinge Kontaktschäden aufwiesen.

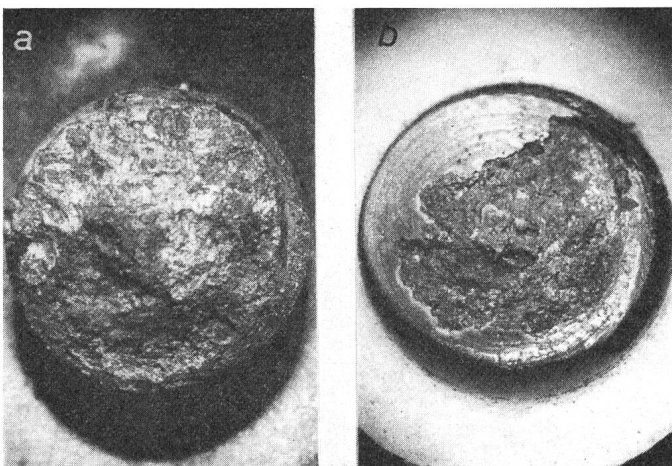


Fig. 3
Korrodierte Kontakte
a Leuchte; b Lampe

Es wurden etliche Lampen mit korrodierten und oxydierten Kontaktflächen gefunden, die allein auf Grund dieses Fehlers nicht mehr brannten. Eine Kontrolle des elektrischen Widerstandes ergab, dass der Widerstand zwischen Lampen- und Leuchtenkontakten von $12,5\ \Omega\text{...}60\text{ k}\Omega$ variierte, wobei an fabrikneuen Lampen ca. $300\text{ m}\Omega$ gemessen wurde. Ein fehlerhaftes Kontaktpaar zeigt Fig. 3.

Die Leuchtenkontakte weisen eine grobe Furchung der Oberfläche auf. Es sind hier Grübchen und Spuren von Funkenübergängen sichtbar. Der Ursprung ist vor allem in einer schlechten Kontaktberührung zu suchen, wobei Feuchtigkeit, Dämpfe und Staub bei verhältnismässig hohen Temperaturen (bis zu $344\text{ }^\circ\text{C}$) zur Korrosion beitragen. Hier kann auch galvanische Korrosion auftreten. Dabei ist zu beachten, dass ein schon korrodierter Leuchtenkontakt an neuen Lampenkontakten Abreissfunken und Kontaktverbrennung hervorrufen kann.

3.3 Kristallisationserscheinungen

Eine Anzahl von Lampen wurde durch Kurzschluss ausser Betrieb gesetzt. Der Kurzschluss trat oft gleichzeitig an zwei entgegengesetzten Wendelenden auf. Einfache Wendeln mit 27 Windungen wiesen bei verschiedenen Lampen jeweils an der 1. bis 4. Windung von der Wendelhalterung her beiderseits die

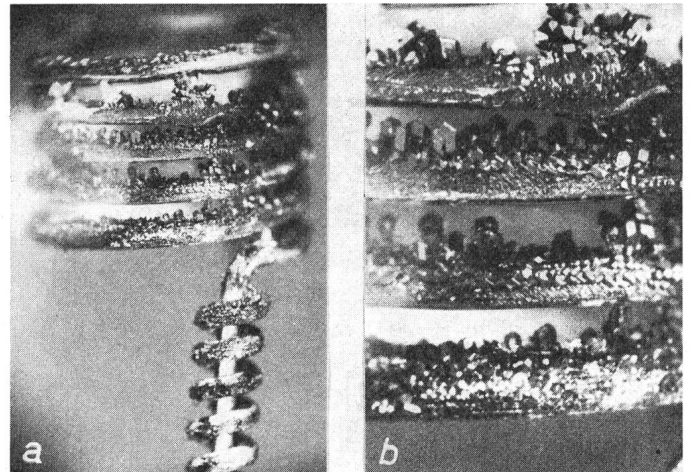


Fig. 4
Kristallisation am Wendelende
a Gesamtansicht; b ein Detail

stärkste Kristallisation auf. In Fig. 4 ist eine solche Kristallisation zu sehen.

Die Kristalle sind zur Wendelmitte gerichtet. Nach längerem Lampenbetrieb wachsen sie von einer Windung zur anderen. Die dabei entstehende Überbrückung der einzelnen Windungen führt zum Durchschmelzen der Wendel. Die Kristallisation kann durch den im Abschnitt 3.1 vorausgesetzten Lufteintritt in das Lampeninnere beschleunigt werden, wobei nicht auszuschliessen ist, dass der eingedrungene Sauerstoff die Bildung von Wolframkristallen begünstigt. Weiter kann an diesem Kristallwachstum die verschiedene Betriebstemperatur (siehe Abschnitt 2.3) mitwirken. Die erwähnte Kristallisation kann aber auch durch thermische Strömungen gefördert werden.

3.4 Thermische Strömungen

Die schematische Darstellung eines Halogenkreisprozesses ist bei den Autoren *J. Guanter* [4] und *W. Schilling* [1] zu finden. Letzterer spricht bei den Transportprozessen darüber, dass sie

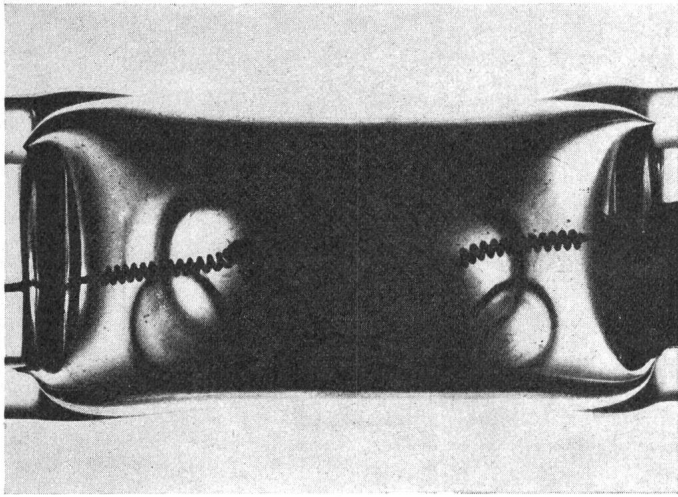


Fig. 5

Seitliche thermische Strömungen in einer Halogenleuchte mit horizontal brennender Wendel

nicht so einfach verlaufen, wie sie zum besseren Verständnis dargestellt werden. Auf Grund der hier vorgenommenen Untersuchung einer Serie von Lampen konnten ausser den von *Guanter* [4] beschriebenen thermischen Strömungen um die Wendelachse herum auch seitliche symmetrische thermische Strömungen gefunden werden. Eine dieser Erscheinungen zeigt Fig. 5.

Neben diesem um die Wendelachse zirkulierenden Prozess sind aus der Literatur auch Transporte des Wolframs längs der Wendel bekannt [5]. Bei allen beschriebenen Wolframtransporten wird aber zu wenig von thermischen Strömungen gesprochen. Wie aus Fig. 5 ersichtlich, sind die beim Lampenbetrieb entstehenden thermischen Strömungen von grosser Wichtigkeit, weil durch sie allein oder gemeinsam mit anderen Transportprozessen die Wolframhalogenide und gegebenenfalls Wolfram an kältere Wendel- oder Wendelhalterungsstellen gebracht werden können. Diese Strömungen wurden nach dem Piranischen Prinzip mit Hilfe von Sauerstoffbeigabe (Luft) in das Lampeninnere sichtbar gemacht.

3.5 Wendelverzerrung

Da das thermische Gleichgewicht bei den Halogenleuchten besonders für den Kreisprozess und die gleichmässigen thermischen Strömungen bedeutsam ist, sei hier ein Beispiel einer Wendelverzerrung angeführt, die das thermische Gleichgewicht störend beeinflussen kann (Fig. 6).

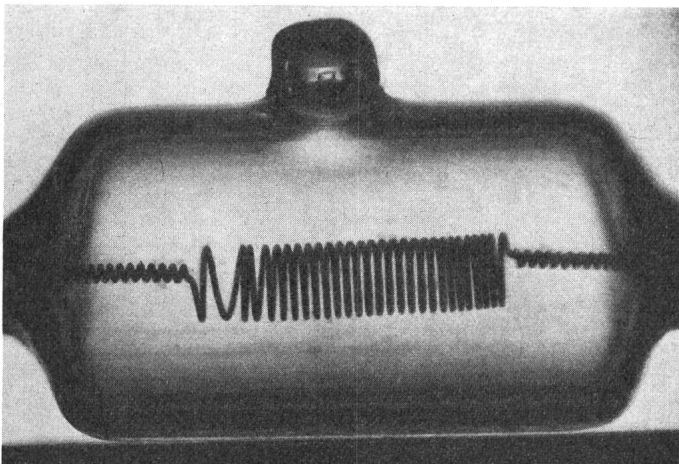


Fig. 6

Wendelverzerrung

Die betreffenden Halogenleuchten wurden unter verschiedenen elektrischen Bedingungen betrieben. Wie aus Tabelle VI ersichtlich, bringen niedrige Betriebswerte auch eine niedrige Wendeltemperatur mit sich.

Falls eine fabrikneue Halogenleuchte bei einer geringeren als der vorgeschriebenen Betriebstemperatur (6,6 A, 200 W) eingebrannt wird, können im Wendeldraht neben unerwünschten Rekristallisationserscheinungen auch Spannungslockerungen oder auch Verspannungen entstehen. Bei weiteren und höheren Betriebswerten ist die Temperaturverteilung an und über der verzerrten Wendel inhomogen, was ebenfalls die Gleichmässigkeit des Halogenkreisprozesses beeinträchtigen kann.

3.6 Verjüngung des Wolframdrahtes

Die geprüften Halogenleuchten zeigten öfters als Ursache eines vorzeitigen Lampentodes eine verjüngte Stelle an der Wendel. Auffallend dabei war, dass sie sich in der Nähe der Wendelhalterung befand. Diese Verjüngung kam bei verschiedenen Lampen mit Doppelwendel oft an derselben Stelle zum Vorschein (Fig. 7).

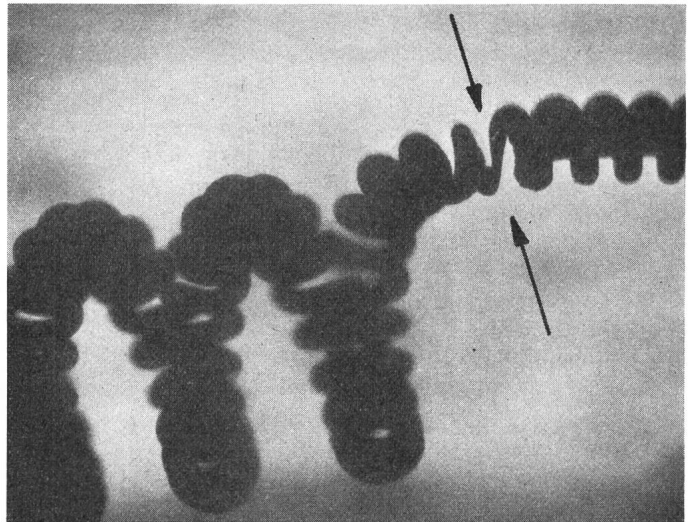


Fig. 7

Verjüngtes Drahtprofil einer Doppelwendel unweit der Wendelhalterung

Die Erklärung dieser Fehlerstelle ist nicht eindeutig. Hier können mehrere Kreis- und Transportprozesse gleichzeitig teilnehmen, und auch die seitlichen thermischen Strömungen (siehe Fig. 5) sind nicht ausser acht zu lassen. Die einzelnen in Frage kommenden Vorgänge sind:

a) Der Wolframtransport von heiss nach kalt. Hier also von der verjüngten Stelle in Richtung der Wendelhalterung (in Fig. 7 nach rechts). Dies wurde auch wirklich an einigen Prüflingen beobachtet, bei denen die Dicke des Drahtes der ersten auf der Halterung « gewickelten » einfachen Windung merklich zunahm.

b) Der Transport von kälteren auf heisse Stellen. Dies würde in diesem Falle einen Transport von der verjüngten Stelle zur Wendelmitte (in Fig. 7 nach links) bedeuten.

c) Auch die Wirkung fremder Elemente auf Wolfram darf nicht vergessen werden. So z. B. berichten *K. Molière* und *D. Wagner* [7] über das in kurzer Zeit erfolgte Abätzen von Wolframdrahtspitzen, an welchen die Kristalle heranwachsen sollten. Dieser Vorgang wird durch Fremdgas oder Undichtheit der Vakuumanlage (Sauerstoffeintritt in das Lampeninnere, siehe Fig. 2) verursacht. Ebenfalls wurden Anlösungsformen und Aushöhlungen von Wolframkristallen in Anwesenheit zu hoher Brompartialdrücke beobachtet.

Auch die Autoren von [2] geben einige Hinweise zur Erklärung dieser Erscheinung. Am wichtigsten ist die Beschreibung einer durch Spuren von Sauerstoff oder Wolframoxyd am Wendelende hervorgerufenen heftigen Erosion, welche zum vorzeitigen Defekt führt.

Es kann also ein einzelner der hier erwähnten Prozesse stattfinden, oder es verbinden sich mehrere der diskutierten Möglichkeiten, um diesen Abtragungseffekt hervorzurufen. Die verjüngte Stelle wird oft zur Ursache eines Glühfadenunterbruches, hervorgerufen durch erhöhte Wendeltemperatur dieser Windung (s. Fig. 7) beim Normalbetrieb der Lampe (gegebenenfalls bei kurzzeitigem Betrieb mit $7,52 \text{ A}$, $I/I_V \cdot 100 = 200 \%$).

4. Zusammenfassung

Der über die mittlere Lebensdauer von 1000 h hinausgehende Betrieb von Halogenglühlampen $6,6 \text{ A}$, 200 W , in einem 645 cm^3 grossen abgeschlossenen Hohlraum mit horizontal brennender Wendel liess einige Schwierigkeiten erkennen. Als charakteristisch wurde folgendes festgestellt:

a) Die beim Betrieb überhitzte Verschmelzung, die an der Mofolie zu Bruch und dadurch zum Luftzutritt in das Lampeninnere führte. Eine Behebung dieses Fehlers könnte durch intensive Wärmeableitung oder auch Abstrahlung an beiden Verschmelzungen einer Lampe erzielt werden, was zum Beispiel durch eine Konstruktionsänderung zu erreichen wäre.

b) Die Korrosion der Kontakte wurde schon besprochen. Keinesfalls darf in diesem Zusammenhang die aggressive Atmosphäre im Leuchtenhohlraum und die hohen Betriebstemperaturen an den Kontakten vergessen werden. Auch hier wäre eine intensive Wärmeableitung nützlich.

c) Der Betrieb mit variierten Strömen und Temperaturen wirkt sich bei Halogenglühlampen nicht gleich aus wie bei normalen Glühlampen. In den Halogenglühlampen treten Gleichgewichtsstörungen zwischen Wolframhalogeniden und Wolfram sowie Halogenelementen auf, wobei das Kristallisationswachstum an den Wendeln zum Durchschmelzen des Glühfadens führt.

d) Zahlreiche Halogenglühlampen liessen thermische Strömungen erkennen, die bei langgestreckten Lampen mit horizontal brennender Wendel wirksam in den Halogenkreisprozess eingreifen.

e) Einige weitere Fehler wie Wendelverzerrung und Wendeldrahtverjüngung können nur teilweise geklärt werden. Ein Einbrennen bei vorgeschriebenen elektrischen Betriebswerten sollte die Wendelverzerrung nicht entstehen lassen. Die Verjüngung des Wendeldrahtes konnte im Rahmen dieses Beitrages nicht restlos geklärt werden.

Wir sehen uns verpflichtet, Dr. *W. Lotmar* und *H. Dudli* für optische und photographische Mitarbeit sowie *A. Wittwer* für die thermischen Messungen an den Lampen in der Leuchte, alle am Eidgenössischen Amt für Mass und Gewicht, unseren Dank auszusprechen.

Literatur

- [1] *W. Schilling*: Derzeitiger Entwicklungsstand auf dem Gebiet der Halogen-Glühlampen. *Lichttechnik* 20(1968)12, S. 139A...142A.
- [2] *J. A. Moore* and *F. A. Jolly*: The quartz-iodine tungsten lamp. Mechanism, design and performance. *G.E.C. J.* 29(1962)2, p. 99...106.
- [3] *E. G. Zubler* and *F. A. Mosby*: An iodine incandescent lamp with virtually 100 per cent lumen maintenance. *Illum. Engng.* 54(1959)12, p. 734...740.
- [4] *J. Guanter*: Neuere Lichtquellen und deren Anwendung. *Bull. SEV* 58(1967)11, S. 490...497.
- [5] *A. Rabenau*: Zur Chemie der Glühlampe. *Angewandte Chemie* 79(1967)1, S. 43...49.
- [6] *H. Jebens-Marwedel*: Glastechnische Fabrikationsfehler, eine pathologische Technologie des Werkstoffes Glas. 2. Auflage. Berlin/Göttingen/Heidelberg, Springer, 1959.
- [7] *K. Molière* und *D. Wagner*: Herstellung von Einkristallen hochschmelzender Metalle durch thermische Zersetzung von Halogeniddämpfen. *Zeitschr. Elektrochemie* 61(1957)1, S. 65...69.

Adresse der Autoren:

F. Mäder, *M. Res* und *J. Biffiger*, Eidg. Amt für Mass und Gewicht, 3084 Wabern/Bern.

EIN BLICK ZURÜCK

Die erste elektrische Lokomotive mit Fremdstromversorgung, 1879



W.-v.-Siemens-Institut, München

Wenngleich wir Menschen von heute im Zeitalter der Kern- und Computertechnik leben und die Raumfahrt die Überwindung aller bisherigen Entfernungen in den Schatten stellt, so ertappen wir uns nicht selten auch in der Bewunderung herkömmlicher Techniken. So kommt es vor, dass wir einen Wolkenkratzer oder vielleicht einen vorbeibrausenden Zug bestaunen.

Die elektrische Lokomotive mit ihrer mächtigen Zugkraft von vielen Tonnen mag auch nicht von gestern auf heute dem menschlichen Geist entsprungen sein, werden wir uns sagen. Aber wann mag wohl die biedere, alte Dampflokomotive diesen Konkurrenten erhalten haben und wie mag wohl die erste elektrische Lokomotive ausgesehen haben, die als Urtyp dessen angesehen werden darf, was uns heute in vielfältigen Formen gegenübertritt?

Nun, es war im Jahre 1879 in Berlin auf der Gewerbeausstellung, als viele Besucher durch eine besondere Attraktion ins Erstaunen gesetzt wurden. Da fuhr in einem Umkreis von 300 m und einer Spurweite von 49 cm eine kleine Eisenbahn, die diesmal nicht von einer fauchenden Dampflokomotive gezogen wurde, sondern durch eine unscheinbar kleine elektrische Lokomotive. Der Lokomotivführer sass wie auf einem Kutscherbock auf dem Gehäuse dieser Lokomotive, die eine Länge von 1,5 m hatte, und bediente den Fahrhebel bzw. die Bremse. Mit Leichtigkeit zog diese Liliput-Lokomotive drei kleine, offene Wagen, auf denen jeweils 6—8 Personen sitzen konnten, mit einer Geschwindigkeit von ca. 7 km/h. Die Leistung des Fahrmotors, eines Gleichstrom-Reihenschlussmotors mit Hefner-Alteneck'schem Trommelanker, betrug 3 PS.

Das besonders Interessante an dieser elektrischen Bahn, die von *Werner von Siemens* projektiert und von *Siemens & Halske* gebaut wurde, war die elektrische Energieversorgung der Lokomotive. Diese wurde im Gegensatz zu einer Lokomotive, die in England schon zu einem früheren Datum gebaut wurde, nicht durch eine Akkumulatoren-Batterie getätigt, sondern durch eine Fremdstromversorgung. Ein kleiner 8-PS-Gleichstrom-Reihenschluss-Generator, ebenfalls mit Trommel-

anker ausgerüstet und angetrieben durch eine Dampfmaschine, versorgte über eine Mittelschiene die Lokomotive mit elektrischer Energie. Die Fahrschienen hatten negatives Potential und dienten zur Stromrückleitung. Die Stromabnahme von der Mittelschiene erfolgte über seitlich laufende Rollenstromabnehmer. Die Spannung betrug 150 V.

Es ist interessant, dass die Reihenanschlußschaltung von Anker- und Feldwicklung, die dieser erste Bahnmotor hatte, auch heute noch üblich ist, da die Drehmomenten-Drehzahlcharakteristik eines Reihenschlussmotors bestens den Anforderungen des Fahrbetriebs entspricht. Auch die bei diesem ersten Bahnbetrieb eingeführte Fremdstromversorgung hat sich bis zum heutigen Tage als unumgänglich notwendig erwiesen.

F. Gitscher