

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 31 (1940)  
**Heft:** 24

**Artikel:** Ueber Glimm-Lampen  
**Autor:** Jaeger, Walter C.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061394>

#### **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:** 20.01.2026

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

# SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

## REDAKTION:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

## ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telephon 5 17 42  
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXI. Jahrgang

Nº 24

Mittwoch, 27. November 1940

## Betriebserfahrungen mit Dörranlagen.

(Mitteilung der Schweiz. Elektrowärmekommission.)

621.364.2 : 664.8.047

Im Bulletin des SEV 1940, Nr. 14, hat die Schweizerische Elektrowärmekommission eine Mitteilung zwecks Förderung des Dörrens von Gemüse und Obst veröffentlicht. Im vergangenen Herbst waren nun an vielen Orten elektrische Dörranlagen im Betriebe und die Schweiz. Elektrowärmekommission möchte die mit diesen Anlagen gemachten Erfahrungen sammeln und nach entsprechender Auswertung den Interessenten für die nächste Dörrsaison zur Verfügung stellen. Sie erachtet daher alle diejenigen Stellen, welche über Erfahrungen mit Dörranlagen verfügen, hierüber bis Ende Januar 1941 an das Generalsekretariat des SEV und VSE in Zürich zuhanden der Schweiz. Elektrowärmekommission zu berichten.

Von Interesse sind alle näheren Angaben über die Dörreinrichtungen selbst (Fabrikat, Bauart, Anschlusswert, Regulierbarkeit der Heizung und der Lüftung) und über die Betriebserfahrungen (Bewährung, Energieaufwand für verschiedenes Dörrgut, zweckmässige Temperatur und Dörrdauer, Eignung der verschiedenen Arten und Sorten Obst und Gemüse zum Dörren, Bewährung der Bedienungsvorschriften des Lieferanten). Für Anregungen zur Verbesserung des Dörrens und Trocknens, sowie der Apparate hiezu, ist die Kommission besonders dankbar. Sehr wertvoll sind auch die Erfahrungen mit dem Dörren im Backofen der Haushaltherde und in Haushalt-Dörrapparaten.

## Ueber Glimm-Lampen.

Von Walter C. Jaeger, Maienfeld.

621 : 327.42

Die statische Stromspannungscharakteristik einer Glimmlampe wird näher behandelt. Im Anschluss daran werden Bemerkungen für die Praxis zusammengestellt, die wesentlich und zum Teil nicht allgemein bekannt sind. Sie wurden durch längere Beschäftigung mit den verschiedensten Formen und bei der Herstellung und Entwicklung spezieller Glimmlampen und Glimmrelais erhalten.

La caractéristique statique courant-tension d'un tube à luminescence est spécialement traitée. Viennent ensuite des remarques importantes mais pas généralement connues, groupées en vue de leur application pratique. Elles résultent de l'étude prolongée de formes les plus diverses ainsi que de la fabrication et du perfectionnement de lampes et de relais luminescents.

### A. Die statische Strom-Spannungs-Charakteristik.

Wird die Spannung  $u$  einer Gasentladungsstrecke langsam vergrössert, so erhält man eine Strom-Spannungs-Charakteristik, die in Fig. 1 gezeichnet ist. Man muss dabei die fallenden Teile der Kurve stabilisieren, indem man den Strom  $i$

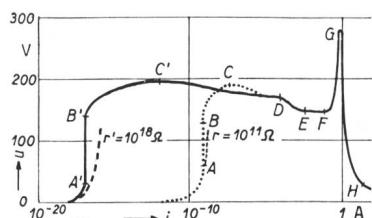


Fig. 1.  
Strom-Spannungs-Charakteristik einer Glimmlampe.  
— im Dunkeln.  
..... im Glühlampenlicht.

beschränkt, z. B. durch eine Glühkathode oder eine Ionisationskammer, die mit Stromsättigung arbeitet. Die Kurve stellt die statische Strom-Spannungs-

Charakteristik einer Gasentladung in Neon-Helium mit ca. 20 Tor und Nickelelektroden mit ca. 0,5 cm Abstand dar. Kurve 0 A' B' C' E F G H gilt für eine abgeschirmte Lampe im Dunkeln, Kurve 0 A ... H gilt für dieselbe Lampe bei Bestrahlung durch eine 40-W-Lampe.

Fig. 2 zeigt eine Glimmlampe (Signal-Glimmrelais), die ungefähr eine Charakteristik nach Fig. 1 besitzt.

Der grosse Elektrodenzylinder dient als Kathode, der kleine Zylinder als Anode und der darin befindliche Stift als Hilfselektrode für spezielle Zwecke, worüber nächstens berichtet wird.

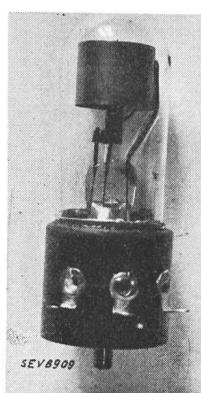


Fig. 2.  
Signal-Glimm-Relais und Stabilisator-Lampe.

Man kann folgende Teile der Charakteristik unterscheiden:

0—A: Die durch äussere Ionisatoren (Höhenstrahlen, Radioaktivität, Photoeffekt) entstehenden Ionen, die die Vorionisation bilden, werden an die Elektroden geführt.

A—B: Es herrscht beinahe Stromsättigung, d. h. beinahe alle durch äussere Ionisatoren gebildeten Ionen werden an die Elektroden geführt.

B—C: Eine unselbständige, häufig stossweise, kaum oder nicht leuchtende Entladung wird durch Verstärkung des Vorionisationsstromes  $i_B$  durch Stossionisation gebildet.

C—D: Eine Townsendentladung, d. h. eine selbständige Entladung geringer Stromdichte mit steigender oder fallender Charakteristik, je nach der Gasentladungsstrecke, hat sich ausgebildet.

D—E: Hier brennt eine «unternormale» Glimmentladung mit verschwindendem Kathodenleuchten.

E—F: Dies ist das Gebiet der «normalen» Glimmentladung mit konstanter Stromdichte, wobei das Kathodenleuchten nicht die ganze Kathodenfläche mit einer Lichthaut bedeckt.

F—G: Eine «über» oder «anormale» Glimmentladung mit stärkerem Spannungsanstieg, wobei die ganze Kathodenfläche mit einer Lichthaut bedeckt ist, leuchtet intensiv.

G—H: Die Kathode erwärmt sich und beginnt thermisch Elektronen zu emittieren, d. h. es entsteht ein Lichtbogen.

Im folgenden werden die einzelnen Abschnitte, soweit sie für die praktische Verwendung von Glimmlampen von Bedeutung sind, behandelt.

#### 0—A: Anlaufen der Vorionisation.

Die angenäherte Berechnung der Charakteristik 0—A gelingt leicht durch die Formel:

$$i = i_m \left(1 - e^{-\frac{u}{r i_m}}\right) \quad (1)$$

Dabei ist  $i_m \approx i_B$  der Sättigungsstrom für unendlich hohe Spannung  $u$ .  $r$  ist der Widerstand der Anfangscharakteristik, d. h.

$$r = \left( \frac{du}{di} \right)_{i \rightarrow 0} \quad (2)$$

$i_m$  und  $r$  können bei bekannter Ionisation leicht berechnet werden. Beispielsweise Werte sind in Fig. 1 eingezeichnet.

#### A—B: Sättigung der Vorionisation.

Zwischen A und B herrscht beinahe vollständige Stromsättigung, da infolge der kleinen Anzahl Ionen pro  $\text{cm}^3$  schon kleine Spannungen  $u$  zur Erzielung der Sättigung genügen.

#### B—C: Verstärkung der Vorionisation.

Bei B beginnt Stossionisation, d. h. die Ionen erzeugen durch ihre kinetische Energie (die sie durch die Beschleunigung im elektrischen Felde  $E$  erhalten) neue Ionen, so dass der Strom  $i_B$  verstärkt wird. Ueber diesen Effekt (der bei gasgefüllten Photozellen und Zählrohren sehr wesentlich ist) vergleiche man vor allem die ausgezeichnete Darstellung von A. von Engel und M. Steen-

beck<sup>1)</sup>. Darnach ist die maximale Stromdichte  $s_c$  durch folgende Formel gegeben:

$$\left( s_c = \text{konst. } \frac{B}{2} - \frac{\mathcal{E}}{p} \cdot s_B^{\frac{2}{3}} \right) \quad (3)$$

Darin bedeutet  $\mathcal{E}$  die Feldstärke, d. h. für den ebenen Plattenkondensator mit dem Plattenstand  $d$  ist  $\mathcal{E} = \frac{u}{d}$ . Es ist ferner  $\mathcal{E}_0$  die Feldstärke für die Zündung bei verschwindender Vorionisation (d. h.  $\mathcal{E} = \frac{u_c}{d}$ ),  $p$  der Gasdruck, und  $B$  ein Exponent aus der Gleichung (4) für die Zahl  $n$  der durch ein Elektron pro  $\text{cm}$  Weglänge (in Feldrichtung gemessen) gebildeten Ionenpaare:

$$n = p A e^{-\frac{B}{\mathcal{E} d}} \quad (4)$$

J. S. Townsend gab in Marx, Handbuch der Radiologie, Bd. 1, für  $A$  und  $B$  folgende Tabelle an:

Konstanten zu Gleichung (4).

Tabelle 1

Gas	A	B	Gültigkeitsbereich	
			$\frac{\mathcal{E}}{p}$	V
Luft	14,6	365	150 ... 600	
N <sub>2</sub>	12,4	342	150 ... 600	
H <sub>2</sub>	5,0	130	150 ... 400	
CO <sub>2</sub>	20,0	466	500 ... 1000	
H <sub>2</sub> O	12,9	289	150 ... 1000	
Ar	13,6	235	100 ... 600	
He	2,8	34	20 ... 150	

Die Verstärkung  $s_c/s_B$  ist bei gasgefüllten Photozellen ca. 10, kann aber bei kleinem  $s_B$  bis 1000 gemacht werden. Bei Zählrohren ist  $s_B$  beinahe 0 und damit kann die Verstärkung sehr gross werden, wie dies auch beobachtet wird.

Der Zündstrom einer selbständigen Gasentladung kann durch (3) berechnet werden. Die Gleichung ist deshalb für Glimmrelais von fundamentaler Bedeutung.

Die Zündspannung  $u_c'$ , bei der die Entladung selbständig wird, d. h. ohne Vorionisation  $i_B$  aufrecht erhalten bleibt, kann durch folgende Formel berechnet werden:

$$u_c' = \frac{B \cdot p \cdot d}{\ln \left( \frac{A \cdot p \cdot d}{\ln \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right)} \right)} \quad (5)$$

$\gamma$  ist von der Energie  $\frac{m \cdot v^2}{2}$  der auftreffenden Ionen, von der Oberfläche des Elektrodenmaterials und vom Gas abhängig (Fig. 3).

In Funktion von (Gasdruck mal Elektrodenabstand) erhält man die bekannten Paschenschen Kurven für die Zündspannungen, nach Fig. 4<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> «Elektr. Gasentladungen», Bd. 2 (1934), S. 53.

<sup>2)</sup> G. Mierdel: Townsendentladung in Wien — Hanns Hdb. der Experimentalphysik Bd. 13 (1929), Nr. 3, S. 130.

Die minimale Spannung ( $u_c$ )<sub>min</sub> der Zündung für verschiedene  $p \cdot d$  erhält man durch Differentiation von (5) zu

$$(u_c')_{min} = e \frac{B}{A} \ln \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right) \quad (6)$$

Das Minimum (Gasdruck mal Elektrodenabstand) zu

$$(p \cdot d)_{min} = e \frac{1}{A} \ln \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right) \quad (7)$$

Da vor allem  $B$  durch äußerst geringe Verunreinigungen des Gases stark geändert wird, ist es verständlich, dass z. B. schon eine Verunreinigung, die nur den  $10^6$ ten Teil des Füllgases ausmacht,

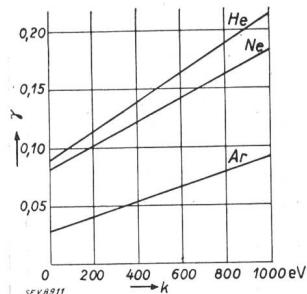


Fig. 3  
Anzahl Elektronen  $\gamma$ , ausgelöst an Ni durch Auftreffen eines positiven Edelgassions der Energie  $k$ .  
(Nach Penning, Proc. Acad. Amsterd. Bd. 33 (1930), S. 841.)

die Zündspannung um 50 Volt ändern kann und dass z. B. die Werte der Fig. 4 derart stark schwanken. Da unedle Gase durch die Entladung zum Teil absorbiert und zum Teil befreit werden, sind nicht äußerst vorsichtig und speziell im Hinblick auf eine konstante Zündspannung hergestellte Glimmlampen, zu deren Bau erhebliche wissenschaftlich verarbeitete, praktische Erfahrungen

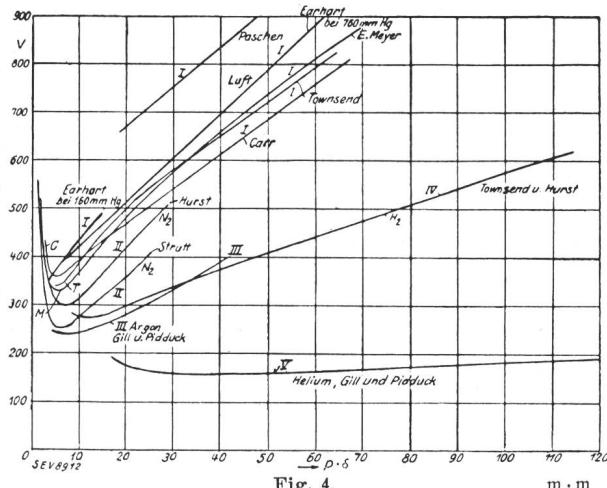


Fig. 4.  
in Funktion von Gasdruck mal Elektrodenabstand.

nötig sind, in ihren Zündspannungen nicht konstant. Es gelingt aber heute, Glimmlampen zu bauen, deren *Zündspannung auf 1 bis 3 % genau definiert* ist. Auf diese Schwankungen ist bei der praktischen Anwendung immer zu achten.

Sehr wichtig für die Anwendung von Glimmlampen ist es, dass  $A$ ,  $B$  und  $\gamma$  in (5) praktisch unabhängig von der Temperatur sind. Die Zündspannung von Glimmlampen, die mit Edelgasen

aber nicht mit Dampf, der im Gleichgewicht mit seinem Kondensat steht (Hg-Tropfen, Na usw.), gefüllt sind, ist deshalb *temperaturabhängig*.

#### C—D: Townsend-Entladung.

Nach der Zündung einer selbständigen Gasentladung (d. h. einer Entladung, die auch ohne äußere Ionisatoren bestehen bleibt) bei C kann die Charakteristik für kleine Stromdichten (bis etwa  $10^{-5} \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) nach Engel und Steenbeck<sup>3)</sup> durch folgende Formel dargestellt werden:

$$u = u_c - k s^2 \quad (8)$$

$$k = \text{konst.} \left( \frac{B}{2} - \frac{\mathfrak{E}_0}{p} \right) \quad (9)$$

Die Charakteristik von C nach D ist darnach und in Uebereinstimmung mit der Erfahrung steigend oder fallend je nach dem

$$\frac{B}{2} > \frac{\mathfrak{E}_0}{p} \text{ fallende Charakteristik C—D} \quad (10)$$

$$\frac{B}{2} < \frac{\mathfrak{E}_0}{p} \text{ steigende Charakteristik C—D} \quad (11)$$

Im ersten Falle entsteht eine Glimmentladung oder ein Funke (je nach dem äußeren Stromkreis), im zweiten Falle eine Coronaentladung.

Dadurch, dass die Charakteristik auch nach der Zündung einer selbständigen Gasentladung weiter steigen kann, entstehen leicht Fehler. Als Zündmoment wird dann nicht das Entstehen einer selbständigen Gasentladung bei C bestimmt (die *Glimm-Zündspannung*), sondern der Beginn eines

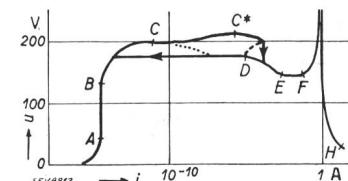


Fig. 5.  
Strom-Spannungs-Charakteristik.

später fallenden Teils der Charakteristik bei C\* (die *Funkenzündspannung*) wie dies in Fig. 5 eingetragen ist. Da  $i_{C^*}$  erheblich grösser als  $i_C$  ist, muss für Glimmlampen, die bei *kleinem Strom i zünden* sollen, eine fallende Charakteristik zwischen C und D gewählt werden.

#### D—E: Unternormale Glimmentladung.

Zwischen D und E brennt eine unternormale Glimmentladung, die sich von der normalen Glimmentladung dadurch unterscheidet, dass der Kathodenbrennfleck so klein ist, dass die Entladung nicht mehr als ein lineares Problem angesehen werden kann (da Ionen seitlich aus der Entladung herausdiffundieren). Wird die Stromstärke in einer unternormalen Entladung allmählich verkleinert, so erlischt die Entladung ungefähr beim Punkt D plötzlich und geht in eine unselfständige Entladung über.  $i_D$  ist deshalb ungefähr der *Löschstrom* der Glimmentladung.

<sup>3)</sup> Elektr. Gasentladungen, Bd. 2, S. 53.

Wenn der Strom  $i$  so klein ist, dass der Durchmesser des Brennflecks der Kathode, in dem die normale Stromdichte herrscht, kleiner wird als die normale Kathodenfallraumdicke (Größenmässig 0,1 mm), so ist die Spannung  $u$  an der Entladungsstrecke grösser als im Punkte E.  $u_E$  ist die kleinste Spannung der Glimmentladung, d. h. die sogenannte *Löschspannung*.

#### E—F: Normale Glimmentladung.

Im Gebiet der normalen Glimmentladung ist nicht die ganze Kathodenfläche mit einer Lichthaut bedeckt, da die Stromdichte in diesem Gebiet nach Tabelle II konstant ist.

Tabelle II gibt die normale Stromdichte, für Kathoden, deren Temperatur etwa der Zimmertemperatur entspricht<sup>4)</sup>.

Normale Stromdichte  $s_n/p^2$  in  $10^{-6} \text{ A/cm}^2 \cdot \text{mm}^2 \text{ Hg}$  auf Zimmertemperatur befindlicher Kathoden für verschiedene Kathodenmaterialien und Gase.

Tabelle II.

Material	Luft	Sauerstoff	Stickstoff	Wasserstoff	Helium	Neon	Argon	Quecksilber
Kupfer . . .	240	—	—	64	—	—	—	$\approx 15$
Gold . . .	570	—	—	110	—	—	—	—
Magnesium . . .	—	—	—	—	3	5	20	—
Zink . . .	—	—	—	80	—	—	—	—
Aluminium . . .	330	—	—	90	—	—	—	4
Eisen . . .	—	—	400	72	2,2	6	160	8
Nickel . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
Platin . . .	—	550	380	90	$\approx 5$	18	150	—

Wird der Strom  $i$  gesteigert, so vergrössert sich die von der Lichterscheinung bedeckte Fläche der Kathode und die Brennspannung steigt nur sehr wenig an. Dieser Bereich ist in Fig. 6 dargestellt.

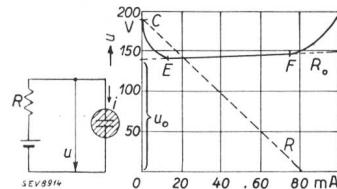


Fig. 6.  
Strom-Spannungs-Charakteristik  
für die normale Glimmentladung  
und Schaltschema.

In guter Annäherung kann der Zusammenhang zwischen dem Strom  $i$ , der durch die Glimmlampe fliesst, und der daran liegenden Spannung  $u$  dargestellt werden durch:

$$u = u_0 + R_0 i \quad (12)$$

Dies bedeutet, dass man als *Ersatzschaltung* für die Glimmentladung (nicht die Glimm-Lampe) eine Gleichspannungsquelle mit der Spannung  $u_0$  und einem innern Widerstande  $R_0$  nach Fig. 7 wählt. Beim Brennen einer Entladung ist nach Fig. 6

$$R_0 = \frac{du}{di} \quad (13)$$

<sup>4)</sup> M. Steenbeck, Müller-Pouillet: Lehrbuch der Physik, Bd. 4, III (1933), und G. Schultze und K. Keller in Z. f. Physik, Bd. 77 (1932), S. 703.

Der sogenannte «Wechselstromwiderstand»  $R_0$  beträgt je nach den Glimmlampen nach Angabe von Philips<sup>5)</sup> 80 ... 300 Ohm. Nach den Angaben über die Stabilovoltröhren<sup>6)</sup> beträgt  $R_0$  für Stabilisatorlampen 20 ... 60 Ohm und soll für gewöhnliche Lampen ungefähr 1000 Ohm betragen. Auf diesem relativ kleinen «Wechselstromwiderstand», der bei Stabilovoltröhren bei 10 000 Hz noch nicht 10mal grösser ist, beruhen die Anwendungen der Glimmlampe zur *Spannungsstabilisierung*.

Die Spannung  $u_0$  ist im wesentlichen durch den Kathodenfall nach folgender Tabelle gegeben<sup>7)</sup>:

Normaler Kathodenfall in Volt verschiedener Kathodenmaterialien in verschiedenen Gasen und Dämpfen.

Tabelle III.

Kathodenmaterial	Luft	Stickstoff	Wasserstoff	He- lium	Neon	Argon	Queck- silber
Natrium . . .	200	178	185	80	75	—	—
Kalium . . .	180	170	94	59	68	64	—
Kupfer . . .	370	208	214	177	220	130	447
Silber . . .	280	233	216	162	150	130	318
Gold . . .	285	233	247	165	158	130	—
Magnesium . . .	224	188	153	125	94	119	—
Quecksilber . . .	—	226	337	143	—	—	340
Aluminium . . .	229	180	170	140	120	100	245
Kohlenstoff . . .	—	—	280	—	—	—	475
Eisen . . .	269	215	250	150	150	165	298
Nickel . . .	226	197	211	158	140	131	275
Platin . . .	277	216	276	165	152	131	340

Zu diesem Kathodenfall ist noch der Spannungsabfall in der anodischen Säule zuzurechnen, um die «Ersatzbatteriespannung»  $u_0$  zu erhalten. Dieser Anodenfall ist bei normalen Glimmlampen beinahe null oder hat nur die Grösse der Ionisierungsspannung des Füllgases und beträgt daher für Edelgase höchstens 15 ... 20 V.

Erhöht man die Batteriespannung  $u_B$  in Fig. 6, so zündet plötzlich eine selbständige Entladung mit fallender Charakteristik, wenn die Glimm-Zündspannung  $u_C$  (oder die evtl. davon verschiedene Funken-Zünd-Spannung  $u_C^*$ ) erreicht wird. Die Brennspannung  $u$  ergibt sich dann aus dem Schnittpunkt der Glimmlampencharakteristik mit der ebenfalls in Fig. 6 eingetragenen Charakteristik des Widerstandes  $R$ .

Auf dieser Differenz zwischen Zünd- und Arbeits-, bzw. Löschspannung beruhen alle Anwendungen der *Glimmlampe als Relais und Kipp-  
schwingungserzeuger*.

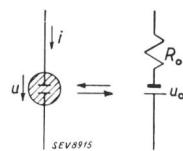


Fig. 7.  
Ersatzschaltung einer  
Glimmentladung.

#### F—G: Uebernormale Glimmentladung.

Zwischen F und G steigt die Spannung  $u$  mit steigendem Strom  $i$  stärker an, da hier die ganze Kathodenfläche mit einer Glimmhaut überzogen ist, d. h. es brennt eine über- oder anormale Glimmentladung, bei der Kathodenfall und kathodische Stromdichte höher sind als bei der normalen

<sup>5)</sup> Spezialröhrenkatalog 1938, GL 1—2.

<sup>6)</sup> Spannungskonstanthaltung durch Glimm-Stabilisatoren im Bull. SEV, Bd. 31 (1940), H. 18, S. 399.

<sup>7)</sup> R. Seeliger, in «Physik der Gasentladungen», 2. Auflage 1934, und M. Steenbeck in Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik, Bd. 4, III, 1933.

Glimmentladung. Fig. 8 nach G. Schultze zeigt die Abhängigkeit des Kathodenfalls von der relativen Stromdichte an Eisenkathoden<sup>8)</sup>.

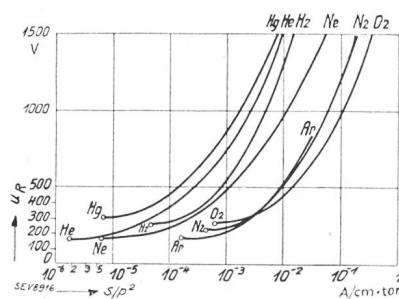


Fig. 8.  
Abhängigkeit des Kathodenfalls  $u_K$  von der relativen Stromdichte  $s/p^2$  an Eisenkathoden.  
(Nach G. Schultze.)

Nur wenn  $u_F$  grösser als  $u_C$  und als  $u_0$  in Fig. 6 ist, und wenn die Kathode die grosse Stromdichte nach Fig. 8 aushält, ohne zu schnell zu zerstäuben (Spezialmateriale, Hohlkathoden) kann die *Glimmlampe ohne Vorschaltwiderstand* an die Stromquelle  $u_0$  gelegt werden.

#### G—H: Bogenentladung.

Bei G wird die Kathode durch die auftreffenden Ionen so stark erhitzt, dass sie thermisch Elektronen zu emittieren beginnt; hier beginnt eine Bogenentladung, die bei H ausgebildet ist und die Bogenspannung erreicht, wie aus Fig. 9 hervorgeht.

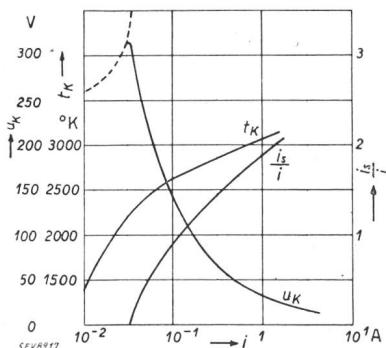


Fig. 9.  
Kathodenfall  $u_K$ , Kathodentemperatur  $t_K$ , Glühelektrischer Strom  $i_s$  zu gesamtem Strom  $i$  an Wokathode.  
(Nach M. Wehrli in Helv. Phys. Acta Bd. I (1928), S. 323.)

#### B. Bemerkungen für die Praxis.

Die folgenden Angaben geben Anhaltspunkte für die Grössenordnung der heute üblichen Glimmlampen, die ohne weiteres gebaut werden können.

1. *Zündspannung*. Die Zündspannung  $u_C$  einer selbständigen Glimmentladung kann durch Elektrodenabstand, Gasart und Gasdruck nach (5) weitgehend verändert werden. Bei Glimmlampen wählt man sie meist zwischen 100 und 300 V. Sie ist bei speziell dazu hergestellten Glimmlampen auf ca. 2 % genau definiert und praktisch unabhängig von der Temperatur.

2. *Zündstrom*. Zur Zündung einer selbständigen Gasentladung ist, auch wenn eine Kapazität als Energiespeicher für die dynamischen Vorgänge vorgesehen ist, ein Zündstrom  $i_C$  nach (3) erforderlich, der von der Vorionisation  $i_B$  abhängt. Er liegt, wenn die Zündspannung der selbständigen Gasentladung gleichzeitig Funken-Zündspannung ist, d. h. wenn (10) gilt, zwischen  $10^{-11}$  und  $10^{-7}$  A. Bei Lampen, bei denen die Funken-Zündspannung höher

liegt als die Zündspannung einer selbständigen Gasentladung [d. h. wenn (11) gilt] beträgt der Zündstrom bis  $10^{-4}$  A und mehr.

3. *Löschspannung*. Die Löschspannung, d. h. die niedrigste Spannung, bei der noch eine selbständige Gasentladung brennt, ist im wesentlichen durch den Kathodenfall (Tabelle II) bedingt. Sie liegt zwischen 65 und 150 V.

4. *Löschstrom*. Der Löschstrom, d. h. derjenige Strom, bei dessen Unterschreiten die selbständige Entladung erloscht, ist durch die unternormale Glimmentladung (Tabelle III) bedingt. Infolge der immer vorhandenen Kapazitäten parallel zur Glimmstrecke löscht eine Entladung (da sich Kippschwingungen ausbilden) meist schon zwischen 0,1 und 1 mA.

5. *Brennspannung*. Sie ist durch den Schnittpunkt der Lampencharakteristik mit dem äussern Widerstand des Stromkreises, in dem die Glimmlampe liegt, und durch die Spannung des äussern Stromkreises bestimmt (Fig. 5).

6. *Maximaler Brennstrom*. Er ist durch das Eintreten des übernormalen Kathodenfalls (Fig. 8) mit erhöhter Kathodenzerstäubung und Erwärmung der Kathode (Fig. 9) begrenzt und kann deshalb um so grösser sein, je grösser die Kathodenfläche und je kürzere Zeit die Entladung dauert. Normale Glimmlampen können dauernd mit 10 ... 50 mA, Spezialglimmlampen mit bis 200 mA belastet werden. Kurzzeitige Entladungen dürfen das mehrfache dieser Werte erreichen.

7. *Innerer Widerstand*. Der innere Widerstand  $R_0 = \frac{du}{di}$  der für Stabilisatorzwecke wichtig ist, ist nur für den Bereich der normalen Glimmentladung angenähert konstant und ist auch hier von der Frequenz abhängig. Er beträgt bei Gleichstrom und bei Wechselstrom bis zu einigen 100 Hz, je nach der Elektrodenanordnung und der Gasfüllung, 20 ... 1000 Ohm.

8. *Zeitabhängigkeit der Entladung*. Sie folgt natürlich nicht aus dem statischen Stromspannungsdiagramm Fig. 1 und ist ziemlich verwickelt<sup>9)</sup>. Normale Glimmlampen zünden und löschen in ca.  $10^{-5} \dots 10^{-4}$  s und können z. B. Kippschwingungen bis einige 1000 Hz ausführen. Die Zündung von Funkentladungen erfolgt in ca.  $10^{-7}$  s, so dass derartige Lampen [bei denen also (10) erfüllt ist] geeignet sind zur Scheitelpotenzialanzeigung kurzzeitiger Spannungsstöße.

9. *Zündverzug*. Der Zündverzug, d. h. die Zeit, die verstreicht zwischen dem Anlegen einer Spannung, die höher als die Zündspannung ist, und der Zündung der Glimmlampe kann bei abgeschirmten Lampen bis einige Stunden betragen und liegt sogar praktisch hin und wieder in der Grössenordnung einiger Minuten. Durch Vorionisation (Bestrahlung mit sichtbarem Licht, ultravioletten Strahlen oder Radiumpräparaten oder durch die Ionen einer vorangegangenen oder einer Hilfsentladung) verschwindet er praktisch vollständig.

<sup>8)</sup> A. Günther-Schultze, Z. f. Phys. Bd. 59 (1930), S. 433.

<sup>9)</sup> W. Druey: Beitrag zur Dynamik der Glimmentladungen, Diss. ETH 1936.

**10. Lebensdauer.** Die Lebensdauer ist durch die Kathodenzerstörung bedingt, die um so grösser wird, je grösser die Kathodenstromdichte und der Kathodenfall sind. Sie beträgt bei normalen Glimmlampen allermindstens einige 1000 Stunden Brenndauer. Für Relaiszwecke ist es sehr wesentlich, dass nur die Brenndauer, nicht aber wie bei einer Glühkathodenröhre, schon die Bereitschaft an der Lebensdauer zehrt.

**11. Zündleistung.** Die zur Zündung erforderliche Leistung liegt nach 1. und 2. zwischen  $10^{-9}$  und  $10^{-5}$  Watt ( $= 10^{-2}$  bis  $10^2$  erg/s  $\approx 10^{-5}$  bis  $10^{-1}$  cm $\cdot$ g/s), wenn (10) gilt und kann bis  $10^{-2}$  Watt ( $= 10^5$  erg/s  $\approx 100$  cm $\cdot$ g/s) und mehr betragen, wenn (11) gilt. Sie ist also immer vergleichbar mit den empfindlichsten mechanischen Relais (Galvanometerrelais) und eine praktisch leistungslose Steuerung wie bei elektrostatischen Relais<sup>10)</sup> ist nicht möglich.

**12. Zündenergie.** Infolge der raschen Aufbauzeit einer Glimmentladung nach 8. ist die nötige Ener-

<sup>10)</sup> Vgl. Bulletin SEV, Bd. 31 (1940), Nr. 9, S. 199.

giezufuhr, damit eine Glimmlampe mit geeigneter Kapazität parallel zu den Elektroden (wegen den dynamischen Vorgängen) zündet, trotz der nicht unerheblichen Zündleistung äusserst klein; sie liegt zwischen  $10^{-14}$  und  $10^{-10}$  Ws ( $= 10^{-7}$  bis  $10^{-3}$  erg  $\approx 10^{-10}$  bis  $10^{-6}$  cm $\cdot$ g), wenn (10) gilt. Damit stimmt überein, dass eine geeignete Entladung zum Beispiel mit einer Kapazität von  $10 \text{ pF}$  ( $= 10^{-11} \text{ F}$ ), die auf eine Spannung aufgeladen ist, die weniger als 1 Volt über der Zündspannung liegt, gezündet werden kann. Dem entspricht ohne Berücksichtigung der Kapazität parallel zu den Elektroden eine Zündenergie von weniger als  $10^{-11} \text{ Clb}$  ( $= 10^{-4}$  erg  $\approx 10^{-7}$  cm $\cdot$ g). Die Zündenergie ist also sehr viel kleiner als die der mechanischen Relais und auch mit empfindlichsten Galvanometer- oder elektrostatischen Relais nicht vergleichbar.

Es soll später berichtet werden, wie es gelingt, diese ausserordentlich kleine Zündenergie trotz der erheblichen Zündleistung praktisch auszunutzen.

## Versuche über die elektrolytische Korrosion von in Erde verlegten metallenen Objekten unter konstanter Gleichspannung.

Mitteilung der Aluminium-Industrie A.-G. und der Korrosionskommission.

621.3.014.6

Im Bulletin SEV 1939, Nr. 25, veröffentlichte die Kontrollstelle der Korrosionskommission (H. Bourquin) einen Bericht über zwei Versuchsserien, die in Zürich und in Neuhausen über die Korrosion von Leichtmetall im Vergleich zu Schwermetall in feuchter Erde bei konstanter Gleichspannung durchgeführt worden waren. Dieser Bericht gab Anlass zu verschiedenen Besprechungen zwischen der Aluminium-Industrie A.-G. und der Korrosionskommission, da sich jene mit der Auslegung der Versuche und den Schlussfolgerungen nicht einverstanden erklären konnte. Das Resultat dieser Besprechungen, bei dem eine vollständige Ueber-einstimmung in der Auffassung und Weiterverfolgung der Versuche erzielt wurde, soll nun hier veröffentlicht werden.

Es ist verfrüht, aus den bisherigen Auslegungen der Versuche den Schluss zu ziehen, dass Aluminium oder dessen Legierungen sich im Erdboden unter Einfluss von Streuströmen ungünstiger verhalten als Schwermetalle wie Blei, Eisen oder Kupfer. Diese Auffassung wurde abgeleitet aus dem Vergleich der spezifischen Gewichtsverluste der Versuchsstoffe mit den nach Faraday errechneten. Den Praktiker interessiert aber nicht der Vergleich mit dem Faradayschen Gesetz, sondern nur die Frage, welches Metall sich unter gleichen Einflüssen am günstigsten verhält. Dieses Verhalten kommt aber zahlenmäßig eher besser durch die bei den verschiedenen Metallen aufgetretene relative Volumeneinbusse zum Ausdruck. Allerdings wäre selbst die relative Volumeneinbusse erst dann für das Verhalten der Metalle stichhaltig, wenn der Korrosionsangriff auf der Gesamtoberfläche regelmässig stattfinden würde.

Da aber in Wirklichkeit die elektrolytische Korrosion bei allen technisch gebräuchlichen Metallen unregelmässig erfolgt, nämlich meistens in Form lokalisierter, punktförmiger, kraterähnlicher Anfressungen, die einen relativ sehr kleinen Teil der Rohr- bzw. Kabelmanteloberfläche berühren, kann natürlich, streng genommen, weder der Gewichtsverlust noch die Volumeneinbusse als Kriterium für das Verhalten der Metalle gegen Elektrolyse gelten.

Tabelle I im ersten Bericht gibt die Gewichtsverluste an von Platten gleicher Dimensionen ( $200 \times 50 \times 2$  mm) aus verschiedenen Metallen, die in feuchtem Erdboden als Anode und Kathode hintereinander geschaltet einer Spannungsdifferenz von *20 Volt während 1 Jahr* ausgesetzt waren. Auf Volumeneinbusse berechnet, kann die Tabelle auch folgendermassen geschrieben werden:

Tabelle I.

Nr.	Material	Gewichtsverluste in g		Volumenverlust in cm <sup>3</sup>			Prozentuale Volumenabnahme		
		Anode	Kath.	Anode	Kath.	Total	An.	Kth.	Tot.
1	Eisen . .	110 <sup>1)</sup>	1,15 <sup>1)</sup>	14,1	0,15	14,25	70,5	0,7	35
4	Blei . .	105,55	5,40	9,4	0,5	9,9	47	2,5	25
5	Kupfer . .	122,90	1,83	13,7	0,2	13,9	68,5	1,0	35
6	Al 99,99 %	5,58	9,78	2,05	3,6	5,65	10,3	18	14
7	Al 99,7 % .	9,60	10,50	3,55	3,9	7,45	17,7	19,5	18
11	Anticorodal	11,86	14,73	4,4	5,5	9,9	22	27,5	25

<sup>1)</sup> umgerechnet auf 365 Tage, Versuche nach 205 Tagen unterbrochen, weil Anschluss abkorrodiert.

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass die totale Volumenabnahme bei Al 99,99 % am niedrigsten ist. Sogar die Legierung Anticorodal