

Denne fil er downloadet fra  
**Danmarks Tekniske Kulturarv**  
[www.tekniskkulturarv.dk](http://www.tekniskkulturarv.dk)

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek  
og indeholder scannede bøger og fotografier fra  
bibliotekets historiske samling.

### Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på  
[www.tekniskkulturarv.dk/about](http://www.tekniskkulturarv.dk/about)

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og  
tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail  
til [tekniskkulturarv@dtu.dk](mailto:tekniskkulturarv@dtu.dk)

O. Hevers.  
Glühlampen  
1913

# Die Herstellung der elektrischen **GLÜHLAMPEN**

Unter Berücksichtigung der Vakuumspiraldraht- und Gasfüllungslampen, der Drahtfabrikation sowie der Berechnung des Leuchtkörpers

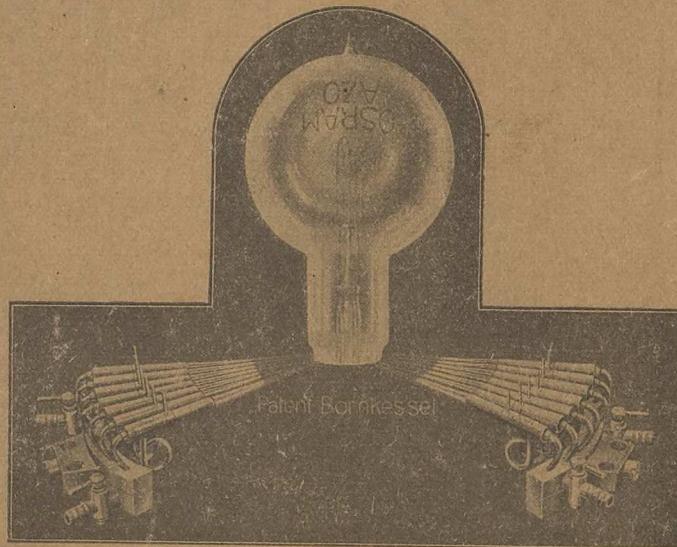
ANHANG:

## Lumineszenzlampen

Gemeinverständlich dargestellt

von **C. HEVERS**

Mit 119 Abbildungen und 16 Tabellen



Verlag von Oskar Leiner in Leipzig

1923

Industrilibrary  
Grp 621 326 Forfatter: G. Hevers.

Titel: Die Herstellung der elektrischen Glühlampen.

Bind: Udgave: Trykaar: 1923.

Industrilibrary

621 326

1923

621.326 *Her*

DANSKES  
TEKNISKE BIBLIOTEK



FF 888

# Die Herstellung der elektrischen GLÜHLAMPEN

Unter Berücksichtigung der Vakuumspiraldraht-  
und Gasfüllungs-Lampen, der Drahtfabrikation  
sowie der Berechnung des Leuchtkörpers

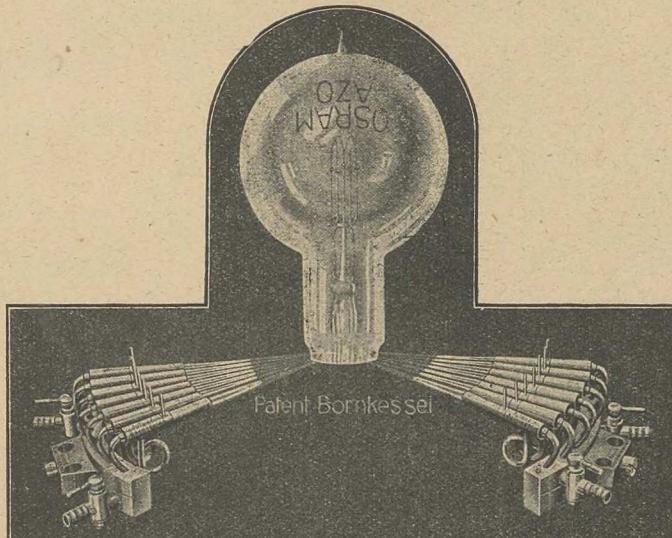
## ANHANG:

### Lumineszenzlampen

Gemeinverständlich dargestellt

von C. HEVERS

Mit 119 Abbildungen und 16 Tabellen



Verlag von Oskar Leiner in Leipzig. 1923

Alle Rechte vorbehalten,  
besonders das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen

Copyright 1923 by Oskar Leiner, Leipzig (Germany)  
Printed in Germany



Maschinensatz und Druck von Oskar Leiner in Leipzig 43969

Meinem ehemaligen Lehrer  
Herrn Geheimrat Dr. OTTO LUMMER

o. ö. Professor an der Universität Breslau  
und Direktor des physikalischen Instituts

in Dankbarkeit gewidmet



---

## Vorwort.

Gerade diejenigen Vorzüge, welche der elektrischen Glühlampe ihren Siegeszug ermöglichten, ihre unerreichte Anspruchslosigkeit und Zuverlässigkeit, haben es bedauerlicherweise mit sich gebracht, daß man ihr in der breiteren Öffentlichkeit ein tieferes Interesse nicht entgegengebracht hat. Erst die ständig fühlbarer werdenden Kosten für Lichtstrom und Lampenersatz und das hierdurch bedingte Problem der Regenerierung ausgebrannter Lampen lenkten die allgemeine Aufmerksamkeit auf den Lichtspender. So wird ein Buch nicht unwillkommen sein, welches, bestimmt für die breitere Öffentlichkeit, das Wissenswerte und allgemein Interessierende gemeinverständlich auf wissenschaftlicher Grundlage zur Darstellung bringt.

Je mehr Beachtung man der Glühlampe schenkt, um so fesselnder ist das Bild, welches sich einem entrollt. Man hat in der Tat in jeder Lampe ein Wunder der Technik vor sich, im wahrsten Sinne des Wortes. Ein Heer von Erfindern — unter ihnen einige der fähigsten Köpfe an technischer Findigkeit einerseits und wissenschaftlichem Denken und Arbeiten andererseits — mußte jahrelang tätig sein, bis uns nach vielen Wandlungen die Lampe in ihrer jetzigen Vollkommenheit beschieden worden ist. Ich habe denn auch geglaubt, auf eine kurze Beschreibung der Entwicklung der Glühlampe nicht verzichten zu können.

Aber auch die Glühlampentechnik hat rückwärts auf die rein wissenschaftliche Forschung anregend und befruchtend eingewirkt, insbesondere auf chemischem Gebiete. Noch heute bietet die Glühlampe dem Forscher höchst interessante Probleme zur Lösung, wie die Funktion der Füllgase in den Halbwattlampen und oxydischer Zuschläge im Wolframmetall. Die Erforschung und Herstellung von Einkristall-

drähten macht, angeregt durch die Glühlampentechnik, von Monat zu Monat weitere Fortschritte.

Bei der Behandlung des Stoffes bin ich von der Tatsache ausgegangen, daß weite Interessentenkreise technisch wenig oder gar nicht vorgebildet sind. Ich habe deshalb zu Anfang in kurzen, einfachen Erörterungen eine theoretische Einführung gegeben, soweit sie für das Verständnis der Glühlampe und ihrer Herstellung unumgänglich notwendig ist. Die Ausführungen sollen zu tieferen lichttechnischen Studien anregend und wegweisend sein und das Verständnis lichttechnischer Bücher wie „Grundlagen, Ziele und Grenzen der Leuchttechnik“ von Otto Lummer, München und Berlin 1918, und „Lichttechnik“ herausgegeben von Leopold Bloch, München und Berlin 1922, zwei hervorragender Werke, welche die Beachtung weitester Kreise verdiensten, erleichtern.

Ich denke, daß das Büchlein auch den mit der Herstellung der Lampen Vertrauteren manche Anregung bieten kann. Wenngleich viele Schwierigkeiten der Ausführung desselben hindernd in den Weg traten — die mehr als notwendige Zurückhaltung einiger Firmen, die Wahrung gewisser Fabrikationsgeheimnisse und das Bestreben, die Abhandlung nicht zu umfangreich werden zu lassen — so hoffe ich doch, daß meine Ausführungen dem Leser ein anschauliches, umfassendes Bild der Herstellung der Lampen und der damit verbundenen Probleme übermitteln werden.

Zahlreiche Firmen haben mich durch Überlassung von Anschauungsmaterial bereitwilligst unterstützt, wofür ich hiermit meinen besten Dank nochmals zum Ausdruck bringe. Die Firmen und Fachkreise möchte ich bitten, mich auch bei der weiteren Ausgestaltung und Vervollkommnung des Buches unterstützen zu wollen und mich insbesondere über Neukonstruktionen von Maschinen und Apparaten auf dem laufenden zu halten.

Im Juni 1923.

C. Hevers.

---

# Stofffolge.

Seite

Vorwort . . . . .	V
Stofffolge . . . . .	VII

## Erster Teil. Wesen und Entwicklung des elektrischen Glühlichts.

### A. Das Wesen des elektrischen Glühlichts.

1. Die elektrische Lampe als Abschnitt einer elektrischen Leitung . . . . .	1
2. Grenzen und Ziele der Lichterzeugung . . . . .	7
3. Praktische Belastungsgrenzen des Leuchtkörpers . . . . .	18

### B. Die Entwicklung des elektrischen Glühlichts.

1. Erste Anfänge. — Die Kohlefadenlampe . . . . .	25
2. Die Nernstlampe . . . . .	29
3. Die Osmiumlampe . . . . .	31
4. Die Tantallampe . . . . .	33
5. Die Wolframlampe . . . . .	35
6. Gasgefüllte Lampen . . . . .	38

## Zweiter Teil. Die Herstellung der elektrischen Glühlampen.

### A. Herstellung der Fäden und Drähte.

1. Die Reindarstellung des Wolframs . . . . .	44
2. Ältere Verfahren zur Herstellung von Wolframfäden . . . . .	49
3. Die Herstellung duktiler Wolframdrähte nach dem Spritzverfahren . . . . .	59
4. Die Herstellung von Wolframdrähten durch mechanische Bearbeitung . . . . .	68
5. Die Abmessungen des Glühkörpers in den elektrischen Lampen . . . . .	97
6. Die Herstellung von schraubenförmig gewundenen Leuchtdrähten . . . . .	110

### B. Der Aufbau der Lampen.

1. Das Drehen der Teller. — Die Gasgebläse . . . . .	123
2. Der Linsenträger . . . . .	128
3. Stromzuführungsdrähte . . . . .	131
4. Das Quetschen der Füße . . . . .	136
5. Anfertigung der Halterdrähte und Aufmontieren des Glühdrähtes . . . . .	139

	Seite
6. Das Lochen der Kolben und das Ansetzen der Stengel	148
7. Das Abziehen und Absprengen der Glocken	152
8. Das Verschmelzen von Lampeneinbau und Glocke	153
9. Das Entlüften der Lampen	158
a) Hochvakuum-pumpen	158
b) Vorvakuum-pumpen	167
c) Der Pumptisch und seine Bedienung	169
d) Vakuummeter	174
e) Verwendung chemischer Hilfsmittel zur Verbesserung des Vakuums und zur Verminderung der Schwärzung der Glocken während des Gebrauches	178
f) Das Entlüften der Lampen in evakuierten Behältern	182
g) Das Brennen der Lampen und das Prüfen des Vakuums	187
10. Einige besondere Herstellungsverfahren	189
11. Das Photometrieren der Glühlampen	192
12. Das Sockeln und Verlöten der Lampen	200
13. Fertigstellung der Lampen bis zum Versand	203
Anhang. Lumineszenzlampe.	
1. Das Moorelicht	206
2. Die neue Glimmlampe für niedrige Spannungen	209
3. Die Neonbogenlampe	210
4. Die Quecksilberdampflampe	212

---

## Erster Teil.

# Wesen und Entwicklung des elektrischen Glühlights.

## A. Das Wesen des elektrischen Glühlights.

### 1. Die elektrische Lampe als Abschnitt einer elektrischen Leitung.

Die moderne Naturwissenschaft lehrt, daß Energie weder zerstört noch neu gewonnen werden kann. Wohl sind wir in der Lage, vorhandene Energie aus einer Form in eine beliebige andere überzuführen. Wärme kann in mechanische Arbeit, mechanische Arbeit in Elektrizität, Elektrizität in Wärme, Wärme in Licht umgeformt werden. Damit sind so gleich, wenigstens zum größten Teil, die Wandlungen aufgezählt, welche die in der Kohle schlummernde chemische Energie nacheinander durchzumachen hat, ehe sie uns aus dem Leuchtdraht einer elektrischen Lampe als Licht entgegenstrahlt. In der Technik hat man das größte Interesse daran, derartige Energieumwandlungen möglichst restlos vor sich gehen zu lassen, das heißt, Energie von einer Form restlos in die gewollte andere Form überzuführen, ohne dabei solche Energie zu erzeugen, welche in der gegebenen Situation nicht zu verwerten ist. Auch eine Glühlampe ist nichts anderes, als ein Energietransformator mit der besonderen Aufgabe, elektrische Energie in Lichtenergie umzuwandeln. Bis zu welchem Grade sie ihre Aufgabe erfüllt, werden wir später sehen.

Um elektrische Energie gerade da zur Wirkung zu bringen, wo man ihrer bedarf, muß sie von dem Ort ihrer Erzeugung — Dynamomaschine, Element u. a. — nach dem

Verbrauchsort fortgeleitet werden. Dies geschieht in einer „**elektrischen Leitung**“.

Nach den Ergebnissen der neueren Forschung sind die Träger des elektrischen Stromes die „**Elektronen**“, unter denen man sich Massenteilchen von unfaßbarer Kleinheit vorzustellen hat. Diese Elektronen sind an sich schon in allen Körpern enthalten. Zur Erregung eines elektrischen Stromes, etwa in einem Metalldraht, ist nur eine treibende Kraft nötig, welche die Elektronen in dem Draht in Bewegung versetzt. Man nennt sie „**elektromotorische Kraft**“. Bei unseren Lichtleitungen gewöhnlich von Dynamomaschinen ausgehend, erzeugt sie zwischen zwei Drähten eine „**Spannungsdifferenz**“, deren Größe in „**Volt**“ angegeben wird. Um ein grobsinnliches Bild zu geben, kann man sagen, daß die Maschine die Elektronen aus dem einen Draht heraussaugt und in den anderen Draht hineinpreßt. Verbindet man beide Drähte, etwa durch Einschalten einer elektrischen Lampe, miteinander, so bewegen sich die angehäuften Elektronen so lange durch die Drähte, wie die Maschine die Spannungsdifferenz aufrecht erhält. Ein elektrischer „**Strom**“ durchfließt die Leitung.

Die Stärke des Stromes hängt offenbar ab von der in der Zeiteinheit durch den Querschnitt gehenden Elektronenzahl. Diese muß, wie man leicht einsieht, an allen Stellen der Leitung gleich groß sein, selbst wenn die einzelnen Abschnitte derselben von verschiedenem Querschnitt und Material sind. Die Größe der **Stromstärke** wird in „**Ampere**“ angegeben. Bei einer Stromstärke von 1 Amp. fließen etwa 6,5 Trillionen Elektronen in 1 Sekunde durch den Querschnitt.

Strömt durch einen Draht elektrische Energie, so nimmt die elektromotorische Kraft im Verlauf der Leitung in der Stromrichtung ab, denn der Draht sucht die Elektronen auf ihrer Bahn zu hemmen. Er setzt ihnen einen „**Widerstand**“ entgegen. Dieser ist um so größer, je länger und dünner der Draht ist. Die Größe des Widerstandes hängt aber auch von dem Material des Leiters ab, denn

nicht alle Körper lassen den Strom gleich gut hindurch. Viele Substanzen, wie Glas, trockenes Holz, Gummi, Porzellan, leiten die Elektrizität praktisch überhaupt nicht, es sind „Nichtleiter“. Alle Metalle sind gute Leiter der Elektrizität, und zwar je nach ihrer Art mehr oder weniger gute. Dieses verschiedene elektrische Verhalten der Körper erklärt man sich so, daß die Elektronen in den verschiedenen Substanzen mehr oder weniger leicht beweglich sind und so die bessere oder schlechtere Leitfähigkeit derselben bedingen. Als Einheit des Widerstandes dient das „Ohm“, das ist der Widerstand eines Quecksilberfadens von 106,3 cm Länge und 1 qmm Querschnitt.

Die drei Größen Spannung ( $E$ ), Stromstärke ( $J$ ) und Widerstand ( $R$ ) sind durch das „Ohmsche Gesetz“ miteinander verbunden. Es besagt:

Anzahl der Volt = Anzahl der Ampere  $\times$  Anzahl der Ohm  
oder in Formel:  $E = J \cdot R$ . Durch Umrechnung ergibt  
sich  $J = \frac{E}{R}$  und  $R = \frac{E}{J}$ .

Mit Hilfe dieser Beziehungen läßt sich eine der drei Größen berechnen, sobald die anderen beiden bekannt sind, und zwar hat das Gesetz sowohl für ganze Leitungen, als auch für Leitungsabschnitte, wie z. B. eine Glühlampe, Gültigkeit, wenn an Stelle der elektromotorischen Kraft des Gesamtstromkreises die Spannungsdifferenz zwischen den Enden des Leiterstückes gesetzt wird.

Die Elektronen veranlassen beim Durchgang durch einen Leiter eine Erwärmung desselben, welche um so größer ist, je größer Spannung und Stromstärke sind. Dabei wird derjenige Abschnitt einer elektrischen Leitung am stärksten erwärmt, welcher dem Strom den größten Widerstand entgegensezтtzt. Haben wir aber die Aufgabe, die elektrische Energie in einem bestimmten Leitungsabschnitt — etwa eine Glühlampe — und möglichst nur hier in Wärme umzusetzen, so haben wir nur dafür zu sorgen, daß der

Widerstand der elektrischen Zuleitung gegenüber demjenigen des betreffenden Leitungsabschnittes verschwindend klein ist.

Somit sind wir in der Lage, mittels des elektrischen Stromes in einem bestimmten Leitungsabschnitt jede beliebige Wärmemenge zu entwickeln, wenn wir nur die Spannung groß genug wählen, um einen Strom von erforderlicher Stärke durch den Leitungsabschnitt zu treiben, dessen Widerstand wir durch Länge, Querschnitt und Material entsprechend bemessen können.

Die entwickelte Wärmemenge entspricht der Zeit, während welcher der Strom fließt, der Spannung und der Stromstärke.

Zur Hervorrufung eines Lichteffektes muß aber der Leitungsabschnitt so hoch erhitzt werden, daß er leuchtet; und das tritt erst bei höheren Temperaturen ein. Je höher die Temperatur, desto größer der Lichteffekt.

Ein Körper wird nun von einer bestimmten Wärmemenge auf eine um so höhere Temperatur gebracht, je kleiner derselbe ist. Ein Draht läßt sich aber kleiner und größer machen, ohne daß man den Widerstand und damit die aufgewandte Energie verändert, da nach dem Gesagten ein dünner Draht, wenn er kurz ist, den gleichen Widerstand haben kann wie ein langer Draht aus demselben Material von größerem Querschnitt.

Wir sind also in der Lage, bei unveränderter Spannung und Stromstärke durch geeignete Dimensionierung des Glühkörpers die Temperatur desselben weitgehend zu variieren.

Es läßt sich ferner leicht einsehen, daß zur Erzielung eines bestimmten Lichteffektes ein Leiter dicker und kürzer ausfallen muß, wenn er schlecht leitet, als einer, der besser leitet.

In Tabelle 1 sind drei verschiedene zu Glühdrähten benutzte Stoffe aufgeführt. Die zweite Spalte enthält den „spezifischen“ Widerstand, d. h. die Anzahl Ohm, welche ein Draht des betreffenden Materials hat, wenn er eine Länge von 1 m und einen Querschnitt von 1 qmm besitzt. Die beiden

nächsten Spalten geben die Dimensionen an, welche ein Draht des betreffenden Stoffes haben muß, um bei gleicher Stromstärke den gleichen Lichteffekt zu geben.

T a b e l l e 1.

Material	Spezifischer Widerstand bei Betriebstemperatur	Dimensionen des Fadens	
		Durchmesser mm	Länge mm
Kohle . . . . .	13	0,117	206
Tantal . . . . .	0,94	0,0345	554
Wolfram . . . . .	0,65	0,026	440

Die Tabelle bezieht sich auf 16kerzige Lampen von 110 Volt.

Um die Wirtschaftlichkeit einer Lichtquelle zu kennzeichnen und einen Vergleich verschiedener Lichtquellen in dieser Hinsicht zu ermöglichen, gibt man gewöhnlich an, wieviel elektrische Energie in der Zeiteinheit aufgewandt werden muß, um einen bestimmten, als Einheit gewählten Lichteffekt hervorzubringen und bezeichnet diese Größe als „spezifischen Effektverbrauch“. Die in der Zeiteinheit aufgewandte Energie, d. i. die elektrische „Leistung“, wird in „Watt“ angegeben. Sie ist abhängig von der Spannung und der in der Zeiteinheit durch den Draht fließenden Elektronenzahl, den Ampere. Es ist

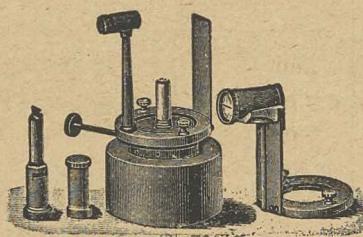
$$\text{Anzahl der Watt} = \text{Anzahl der Volt} \times \text{Anzahl der Ampere.}$$

Als Einheit der Lichtstärke dient in Deutschland die „Hefnerkerze“ (abgekürzt HK). Es ist die in horizontaler Richtung erzeugte Lichtintensität einer von v. Hefner-Alteneck angegebenen Normallampe, wie sie in Abb. 1 dargestellt ist. Der Brennstoff ist Amylazetat. Zur richtigen Einstellung der Flammenhöhe, welche genau 40 mm betragen muß, dient die in der Abbildung sichtbare Visiereinrichtung. Rechts neben der Lampe ist ein von Krüß an-

gegebener optischer Flammenmesser abgebildet und links eine Kontrollelehre zur Prüfung der richtigen Einstellung des Dochrandes und des Flammenmessers. Die Hefnerkerze, eine willkürlich gewählte Lichteinheit, ermöglicht die Messung der Strahlungsintensität einer beliebigen Lichtquelle,

indem man angibt, wievielmal so hell dieselbe brennt als die Normallampe. Man sagt dann, die gemessene Lichtquelle habe so und so viele „Hefnerkerzen“ oder auch kurz „Kerzen“. In anderen Ländern sind andere Lichteinheiten gebräuchlich,

deren gegenseitige Beziehungen aus Tabelle 2 hervorgehen.



ADD. 1.

T a b e l l e 2.

Lichtquelle, gegeben in:	1. HK	2. Carcel	3. Standard- kerze usw.
1. Hefnerkerze (HK) . . . . .	1	0,093	0,900
2. Carcel, Frankreich . . . . .	10,75	1	9,65
3. Standardkerze (intern. Kerze) Bougie déimale. American Candle. Pentane Candle . . .	1,11	0,104	1

Die Strahlungsintensität einer Glühlampe ist in verschiedenen Richtungen sehr verschieden groß. Lange Jahre begnügte man sich mit der Angabe der „horizontalen Lichtstärke“, weil die Lampen in dieser Richtung einen ausgesprochenen Höchstwert an Strahlungsvermögen besaßen, und das Verhältnis von horizontaler Strahlung zur Gesamtstrahlung bei allen gebräuchlichen Lampen ziemlich das gleiche war. Als hingegen vom Jahre 1913 ab Lampen von ganz anderer Lichtverteilung in den Handel kamen, sah man sich genötigt, nicht eine ausgezeichnete Richtung, sondern die allseitig in den Raum ausgestrahlte Lichtmenge

zur Kennzeichnung der Lichtstärke dieser Lampen zu berücksichtigen: Man gab die „mittlere räumliche Lichtstärke“ an. Denkt man sich das gesamte von einer Lichtquelle ausgestrahlte Licht so in derselben verteilt, daß sie nach jeder Richtung des Raumes in gleichen Zeiten die gleichen Lichtmengen sendet, so entspricht die in sämtlichen Richtungen nunmehr konstante Strahlungsintensität der mittleren räumlichen Lichtstärke, welche auch als mittlere sphärische Lichtstärke bezeichnet wird (Abkürzung:  $HK_0$ ). Diese ist natürlich stets kleiner als die Lichtstärke in der Richtung des Strahlungsmaximums.

Neuerdings wird angestrebt, die Lichtstärke in „Lumen“ anzugeben. Man hat alsdann die sphärische Lichtstärke noch mit dem konstanten Wert  $12,57$  (d. i.  $4\pi$ ) zu multiplizieren und erhält den gesamten in den Raum gestrahlten „Lichtstrom“.

Der spezifische Effektverbrauch gibt an, wieviel Watt zur Erzeugung einer Lichtstärke von  $1\text{ HK}$  verbraucht werden, also Watt pro Hefnerkerze  $\left(\frac{W}{HK}\right)$ . Eine andere, weniger gebräuchliche Angabe ist die „Lichtausbeute“, welche angibt, wieviel  $HK$  einem Energieaufwand von einem Watt entsprechen, also Hefnerkerzen pro Watt  $\left(\frac{HK}{W}\right)$ . Diese Größe wird nach Lummer und Kohn auch als „technische Ökonomie“ bezeichnet.

## 2. Grenzen und Ziele der Lichterzeugung.

Der Glühlampenkonstrukteur hat die Aufgabe, eine Lichtquelle zu schaffen, welche einen möglichst kleinen spezifischen Effektverbrauch aufweist, und zwar unbeschadet der sonstigen erforderlichen Eigenschaften, wie lange Lebensdauer, Handlichkeit u. a. m. Im folgenden soll dargelegt werden, was man bestenfalls von einer Glühlampe

erwarten kann, nach welchen Grundsätzen sie gebaut werden muß und wie weit wir bisher auf dem Wege zur idealen Glühlampe fortgeschritten sind.

Unsere Glühlampen arbeiten in der Weise, daß sie die elektrische Energie in Wärme umsetzen, welche den Glühkörper bis zur Lichtausstrahlung erhitzt. Die Glühlampen sind „Temperaturstrahler“.

Die Temperaturstrahler sind, wenn man sie als Lichtquelle benutzen will, außerordentlich unökonomisch, weil sie nicht Lichtstrahlen allein, sondern als unbrauchbares, meistens sogar lästiges Nebenprodukt des Energieumsatzes dunkle Wärmestrahlen aussenden.

Licht- und Wärmestrahlen sind wesensverwandte Erscheinungen. Nach unseren heutigen Anschauungen sind sie auf periodische elektromagnetische Zustandsänderungen zurückzuführen, welche sich von dem Ort ihrer Entstehung im Raume ausbreiten. Man vergleicht diese periodischen Zustandsänderungen mit den Wellenbewegungen des Wassers und denkt sich als Träger der Wellenbewegung den sog. Weltäther und spricht in diesem Sinne von Ätherwellen. Wir kennen noch andere Ätherwellen als Licht- und Wärmestrahlen, nämlich die Röntgen-, Radium- und ultravioletten Strahlen und die elektrischen Wellen, welche bei der Strahlung der Glühlampen verschwindend wenig oder gar nicht in die Erscheinung treten. Alle diese Energiestrahlen unterscheiden sich lediglich in der Länge der Wellen, dem Abstand zweier benachbarter Wellenberge bzw. Wellentäler voneinander; die „Wellenlänge“ ist es, welche der Strahlung ihr besonderes Gepräge aufdrückt.

Eine Zusammenstellung der nach Wellenlängen geordneten Energiestrahlen zeigt Abb. 2. Die kürzesten bisher bekannt gewordenen Wellen, welche zu der Gattung der Röntgenstrahlen gehören, haben eine Länge von weniger als einem hundertmillionstel Millimeter (abgekürzte Schreibweise  $1 \mu = 0,001 \text{ mm}$ ;  $1 \mu\mu = 0,000\,001 \text{ mm}$ ). Die Wellen

länge der längsten elektrischen Wellen beträgt viele tausend Kilometer.

Unser Auge ist von der Natur so eingerichtet, daß es nur diejenigen Wellen in die Empfindung „Licht“ umzusetzen vermag, welche dem beschränkten Strahlungsgebiet zwischen etwa 0,75 und 0,4 Tausendstel Millimeter (0,75 bis 0,4  $\mu$ )

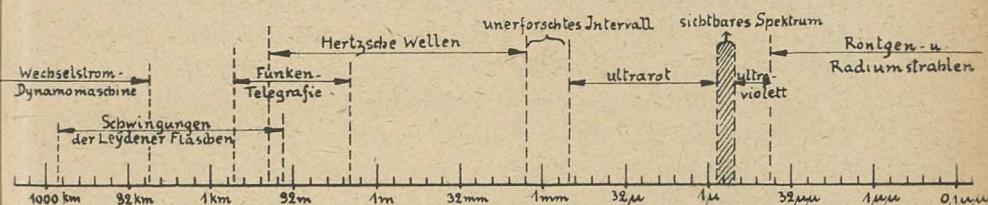


Abb. 2.

angehören. Denken wir uns, daß die Strahlen dieses Gebietes der Wellenlänge nach geordnet in unser Auge gelangen, so empfinden wir das Farbenspiel des Regenbogens. Eine Strahlenart von bestimmter Wellenlänge ruft also eine bestimmte Farbenempfindung in uns hervor. Die längsten Wellen des Spektrums sind die roten und die kürzesten die violetten,



Abb. 3.

dazwischen gelb, grün, blau u. a. Alle Farben dieses Farbenbandes bzw. eine geeignete Auswahl aus demselben geben miteinander vereinigt weißes Licht. In Abb. 3 sind die den verschiedenen Wellenlängen entsprechenden Farben verzeichnet.

Alle Strahlen sind Energie (Strahlungsenergie). Allerdings ist die Energie der sichtbaren Strahlung gewöhnlich sehr gering. Nach Lummer müßte die Energiemenge, welche, von einer 1 m entfernten brennenden Kerze ausgehend, unser Auge trifft, über ein Jahr lang aufgespeichert werden,

damit sie die Temperatur von 1 g Wasser um  $1^{\circ}$  C erhöht. Wie billig müßte unser elektrisches Licht sein, wenn wir es vermöchten, die uns beispielsweise in der Steinkohle zur Verfügung stehende Energie voll auszunutzen!

Wenn wir nun darangehen, die Temperaturstrahlung gesetzmäßig, d. h. zahlenmäßig, zu erfassen, so stoßen wir auf große Schwierigkeiten, denn die als Temperaturstrahler in Betracht kommenden Substanzen verhalten sich lichttechnisch alle verschieden. Es ist daher unmöglich, allgemein gültige Strahlungsgesetze aufzustellen. Indessen ist es gelungen, zunächst für eine ideale Substanz, den „*absolut schwarzem Körper*“, Gesetzmäßigkeiten zu ermitteln, welche mit mehr oder minder großer Genauigkeit Rückschlüsse auf die realen Strahler zu ziehen gestatten.

Als „*absolut schwarz*“ wurde bereits von Kirchhoff ein Körper definiert, welcher die auf ihn auffallenden Strahlen aller Wellenlängen restlos verschluckt (absorbiert) und keine zurückwirft (reflektiert) oder hindurchläßt. Deshalb muß er uns eben so lange schwarz erscheinen, als er nicht selbst zur Lichtquelle wird. Einen solchen Körper gibt es in der Natur nun allerdings nicht, denn selbst unsere schwärzesten Substanzen, wie Ruß oder Platinmoor, reflektieren noch einen geringen Teil der auffallenden Strahlen. Und doch ist es Lummer und Wien gelungen, den schwarzen Körper zu verwirklichen, indem sie Hohlräume mit kleinen Öffnungen benutztten, aus denen hereingelassene Strahlen nicht wieder zum Vorschein kamen, sondern so lange von den Wänden reflektiert wurden, bis sie restlos absorbiert waren.

Würden wir einen absolut schwarzen Körper als Lichtquelle benutzen, so würde er, wie alle Körper, um so heller erstrahlen und um so mehr dunkle Wärmestrahlen aussenden, je höher seine Temperatur ist. Welche Beziehungen zwischen der Gesamtenergieabgabe und der Temperatur bestehen, lehrt das Stefan-Boltzmannsche Gesetz, welches besagt, daß sich die erstere beim schwarzen Körper mit der

vierten Potenz der absoluten Temperatur<sup>1)</sup> ändert. Erhöhen wir beispielsweise die Temperatur von 1000 auf 2000° abs., so erhöht sich die ausgestrahlte Energie um den  $2^4 = 16$ -fachen Betrag, und eine Erhöhung der Temperatur um das Dreifache würde eine auf das 81fache gesteigerte Strahlungsintensität zur Folge haben.

Es wäre allerdings verfehlt, daraus den Schluß zu ziehen, daß eine Erhöhung der Temperatur für eine ökonomische Lichterzeugung günstig wäre. Die ausgestrahlte Energie muß dem Glühkörper vielmehr in vollem Betrage wieder zugeführt werden, wie es das Prinzip von der Erhaltung der Energie verlangt. Die Wirtschaftlichkeit würde durch eine erhöhte Betriebstemperatur um nichts gebessert werden, wenn die Verteilung von Licht- und Wärmestrahlung bei allen Temperaturen dieselbe bliebe.

Um über die Frage der Energieverteilung Aufschluß zu erhalten, sei zunächst einmal die auf die verschiedenen Wellenlängen entfallende Strahlungsenergie bei einer beliebig herausgegriffenen Temperatur von 3500° abs. in Abb. 4 dargestellt<sup>2)</sup>.

Auf der Horizontalen sind die Wellenlängen von 0 bis 3  $\mu$  abgetragen und senkrecht dazu die jeweiligen Energiewerte. Die Kurvenpunkte liegen also um so höher über der Horizontalen (Abszissenachse), je größer die ausgestrahlten Energiebeträge der betreffenden Wellenlängen sind. Das Gebiet der sichtbaren Strahlen, welches sich ja nur über einen Bereich von 0,4 bis 0,75  $\mu$  erstreckt, ist schraffiert gezeichnet. Man erkennt sofort, daß der auf ihr Gebiet entfallende Teil der ausgestrahlten Gesamtenergiemenge nur sehr gering ist. Hinzu kommt noch, daß unser Auge nicht für alle Lichtstrahlen gleich empfindlich ist, sondern daß es energiegleiche Strahlen verschiedener Farbe sehr verschieden hell bewertet.

<sup>1)</sup> Der Nullpunkt der absoluten Temperaturskala liegt um 273° tiefer als der der Celsiusskala. Es ist also

$$1000^\circ \text{ C} = 1273^\circ \text{ abs.}$$

$$2000^\circ \text{ abs.} = 1727^\circ \text{ C usw.}$$

<sup>2)</sup> Diese und die folgenden Berechnungen dieses Abschnittes sind von Dr. A. R. Mayer ausgeführt worden, E. u. M. Wien 1916; S. 585 u. f.

Die größte Empfindlichkeit zeigt unser Auge im Gelbgrünen für Strahlen von  $0,55 \mu$ . Von hier aus nimmt die Empfindlichkeit sowohl nach dem roten als nach dem blauen Teil des Spektrums zu sehr schnell ab. Strahlen zwischen  $0,70$  und  $0,75 \mu$  tragen zur Lichtempfindung praktisch überhaupt nichts mehr bei. Wie unser Auge die verschieden starke Lichtstrahlung der Abb. 4 beurteilt, ist durch den stark schraffiert gezeichneten Teil gekennzeichnet. Man sieht daraus, daß die Lichtenergie wesentlich günstiger beurteilt würde, wenn unser Auge für die Strahlen des gesamten Spektralgebietes die gleiche Empfindlichkeit hätte, wie für die gelbgrünen.

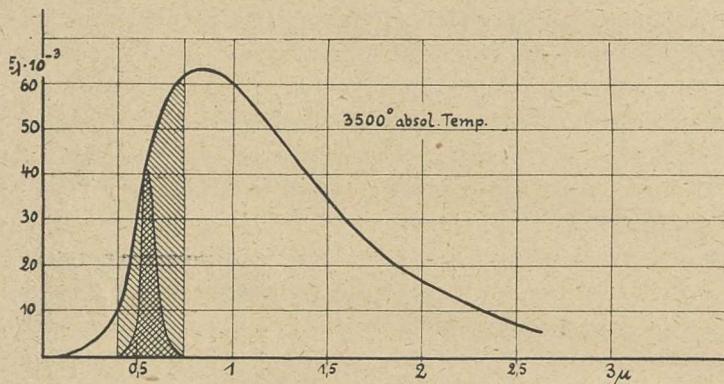


Abb. 4.

Es ist ausgerechnet worden, wie groß der Anteil der sichtbaren Strahlungsenergie (ohne Rücksicht auf die Augenempfindlichkeit) an der Gesamtstrahlungsenergie ist, und zwar nicht nur für die als Beispiel gewählte Temperatur von  $3500^\circ$ , sondern für den gesamten Temperaturbereich von  $0$  bis  $10\,000^\circ$  abs. Die Ergebnisse sind in Abb. 5 wiedergegeben. Die Temperaturen sind als Abszissen, der Anteil der sichtbaren Strahlungsenergie in Prozenten als Ordinaten abgetragen und die erhaltenen Punkte wieder durch einen Linienzug miteinander vereinigt. Die zu einer jeden Temperatur gehörige Prozentzahl ist an der linken Begrenzung bequem abzulesen. Wir sehen, daß die Ausbeute an sicht-

barer Energie bis zu fast  $7000^{\circ}$  hinauf zwar außerordentlich anwächst, aber selbst im günstigsten Falle bis  $6800^{\circ}$  abs. nur rund 43,5% ausmacht, also noch nicht die Hälfte der Gesamtstrahlung. Dann ist aber bereits die Temperatur der Sonne, welche an der uns sichtbaren Außensphäre etwa  $6000^{\circ}$  beträgt, längst erreicht.

Unsere besten Glühlampen brennen bei einer Betriebs-temperatur zwischen  $2000$  und  $3000^{\circ}$  abs. Wenngleich die Kurve nur für den absolut schwarzen Körper Gültigkeit hat, so liegen die Verhältnisse bei den hauptsächlich in Betracht kommenden Materialien doch ganz ähnlich.

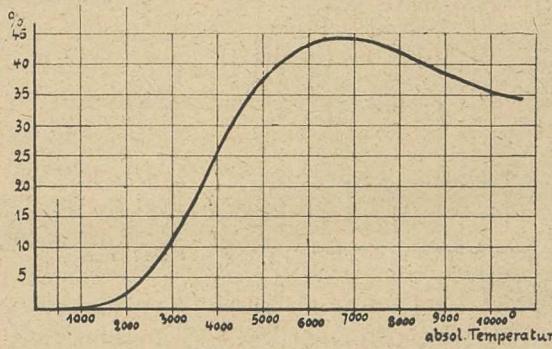


Abb. 5.

Der absolut schwarze Körper sendet bei allen Temperaturen und Wellenlängen unter allen Temperaturstrahlern die meiste Energie aus. Befinden sich reale Strahler auf gleicher Temperatur, so strahlt der schwärzeste am hellsten. Das erscheint auf den ersten Blick befremdend, stimmt aber mit dem Experiment überein: Auf einer glühenden Porzellscherbe oder einem blanken glühenden Platinblech strahlen Tintenstriche, welche beim Glühen schwarzes Eisenoxyd hinterlassen, sehr viel heller als das Platin oder das Porzellan.

Man könnte geneigt sein, daraus den Schluß zu ziehen, daß der schwärzeste Körper die beste Leuchtsubstanz für unsere Glühlampen abgeben würde. Das Gegenteil ist jedoch der Fall, denn er strahlt nicht nur im sichtbaren, son-

dern auch im unsichtbaren Spektralgebiet die meiste Energie aus. Als Glühkörper sind vielmehr solche am geeignetsten, welche sich in ihren Strahlungseigenschaften im sichtbaren Gebiet dem absolut schwarzen Körper möglichst nähern und im unsichtbaren Gebiet möglichst schwach strahlen. Körper mit dieser Eigenschaft nennt man „*selektive Strahler*“ (*selektio* = Auswahl). Während nun bei Kohle die Energieverteilung praktisch die gleiche ist wie beim absolut schwarzen Körper, weisen die Metalle tatsächlich selektive Strahlungseigenschaften auf. Glühlampen mit metallischem Leuchtkörper, wie Tantal, Osmium, Wolfram, sind in der Ausnutzung

der Energie der Kohle-fadenlampe überlegen.

Um zu zeigen, wie sich die selektiven Strahlungseigenschaften geltend machen, ist in Abb. 6 noch einmal der optische Nutzeffekt — das war der auf die sichtbare Strahlung entfallende Anteil der Gesamtstrahlung

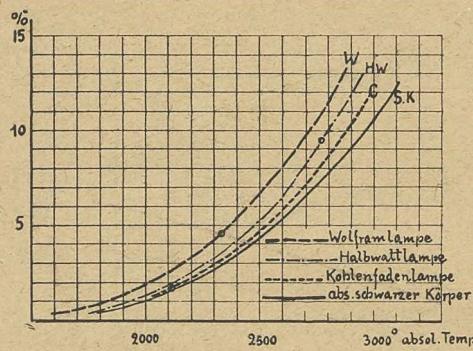


Abb. 6.

— des schwarzen Körpers in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt, und zwar zwischen 0 und  $3000^{\circ}$  abs. Außerdem sind aber noch die Werte von drei weiteren Strahlern, nämlich der Kohlefaden-, der Wolfram- und der Halbwattlampe eingezeichnet. Von der letzteren sei hier nur bemerkt, daß in ihr ebenfalls ein Draht aus Wolfram, aber unter anderen Bedingungen als in der gewöhnlichen Lampe glüht. Aus dem Verlauf der Kurven ist zu entnehmen, daß sich die Kohle-fadenlampe in der Tat nur wenig besser verhält, als der absolut schwarze Körper. Günstiger strahlt die Halbwattlampe, während die Wolframlampe eine wesentlich vorteilhaftere Energieverteilung aufweist. Die Betriebstemperaturen der Leuchtkörper bei normaler Belastung sind durch Kreise

markiert. Man erkennt, welchen bedeutenden Fortschritt jede Erhöhung der Betriebstemperatur mit sich bringt. Als ebenfalls wichtiger Strahler wäre noch das Tantal zu nennen gewesen, doch fällt seine Kurve mit derjenigen des Wolframs praktisch zusammen, nur liegt die Betriebstemperatur der Tantallampe bedeutend niedriger, und zwar bei  $2200^{\circ}$  abs. Aus der Abbildung sind die in den beiden ersten Spalten der Tabelle 3 verzeichneten Werte für die Betriebstemperatur und den optischen Nutzeffekt der genannten Lampen zu entnehmen.

T a b e l l e 3.

Lampengattung	Betriebs- temperatur Grad abs.	Optischer Nutzeffekt		Visueller Nutzeffekt der zugeführten Leistung
		der zugeführten Leistung	der Gesamt- strahlung des Fadens	
Kohlefadenlampe . . .	2130	1,8%	1,9%	0,35%
Tantallampe . . . .	2200	3,4%	3,8%	0,70%
Wolframlampe . . .	2320	4,6%	5,0%	1,05%
Halbwattlampe . . .	2780	9,5%	11,2%	2,55%
1000—3000 Kerz. 110 Volt				

Wir sehen, daß in den Lampen nur ein außerordentlich geringer Bruchteil der zugeführten Energie in sichtbare Strahlungsenergie umgesetzt wird, und zwar in den Kohlenfadenlampen noch nicht der fünfzigste und in der Halbwattlampe noch nicht der zehnte Teil. Immerhin ist der von Lampe zu Lampe wahrnehmbare Fortschritt recht bedeutend. Derselbe ist in erster Linie auf die erhöhte Betriebstemperatur und andererseits auf die selektiven Strahlungseigenschaften der Metalle zurückzuführen. Bei der Bewertung dieser Ziffern ist noch in Betracht zu ziehen, daß sich die Kurven der Abb. 6 bei dem schwarzen Körper auf die Strahlung allein beziehen, während bei den Lampen die Verluste an Energie durch Wärmeableitung an den Stromeinführungen und den Glühfadenträgern und durch Absorption an der Glocke mit in die Rechnung einbezogen sind. Diese Verluste wurden wie folgt bewertet: bei Kohlenfadenlampen rund 5%, bei Tantal-

lampen 10%, bei Wolframlampen 8% und bei dickdrähtigen Gasfüllungslampen 15% der Gesamtenergie. Erst wenn man diesen Energieverlust in Abrechnung bringt, erhält man ein zuverlässiges Bild über die Strahlungseigenschaften der Glühkörper selbst. Die sich dann ergebenden günstigeren Werte für den optischen Nutzeffekt sind in der dritten Spalte der Tabelle 3 verzeichnet.

Berücksichtigen wir wie bei der Abb. 4 die verschiedene Empfindlichkeit des Auges für Strahlen verschiedener Wellenlänge, so ergeben sich die in der Tabelle als „visueller Nutzeffekt“ der Gesamtstrahlung bezeichneten Werte, welche natürlich beträchtlich geringer sind als die Werte des „optischen Nutzeffektes“.

Es liegt auf der Hand, daß der spezifische Effektverbrauch bzw. die Lichtausbeute den Werten des optischen und visuellen Nutzeffektes entsprechen.

T a b e l l e 4.

Reale Strahler	HK <sub>0</sub> /W	Idealé Strahler	HK <sub>0</sub> /W	abs. Temp.
Kohlefadenlampe .	0,25	Schwarze Strahler aller Wellenlängen	10,5	rund 6600°
Tantallampe . . .	0,51	Schwarze Strahler im sichtbaren Gebiet (0,4—0,75 $\mu$ )	—	—
Wolframlampe . .	0,75	—	24,8	rund 5300°
Halbwattlampe . .	1,82	Monochromatischer Grün-gelbstrahler	72,5	—
1000—3000 Kerzen 110 Volt				

Die bei normaler Belastung für 1 Watt aufgewandter Energie erhaltenen Hefnerkerzen (Lichtausbeute) sind in der ersten Spalte der Tabelle 4 angegeben. Auch die Lichtausbeute nimmt mit steigender Temperatur in ähnlicher Weise zu, wie der optische Nutzeffekt (in Abb. 5 für den absolut schwarzen Körper wiedergegeben). Um den in den Glühlampen bisher verwirklichten Lichtausbeuten diejenigen gegenüberzustellen, welche günstigstenfalls erreichbar sind, wurde in Tabelle 4 die für ein Watt erzeugbare Anzahl Hefnerkerzen von drei idealen Strahlern verzeichnet. Der

absolut schwarze Strahler würde bei  $6600^{\circ}$  seine günstigste Lichtausbeute von  $10,5 \text{ HK}_0/\text{W}$  haben, würde aber selbst dann noch mehr als die Hälfte der ihm zugeführten Energie in dunkle Wärmestrahlen umsetzen. Hätte der schwarze Körper die Fähigkeit, nur sichtbare Strahlen auszusenden, so würde er uns bei rund  $5300^{\circ}$  den maximalen Wert von  $24,8 \text{ HK}_0/\text{W}$  liefern. Ein noch günstigerer Strahler wäre ein solcher, welcher die Energie lediglich in solchen Lichtstrahlen aussendet, für welche unser Auge am empfindlichsten ist, also in gelbgrünen Strahlen von  $0,55 \mu$  Wellenlänge. Dieser „monochromatische“ Strahler würde bei allen Temperaturen pro Watt  $72,5$  sphärische Hefnerkerzen aussenden! Allerdings würde es praktisch keinen Wert haben, auf einen solchen Strahler hinzuarbeiten, da farbige Lichtquellen nur für besondere Zwecke, nicht aber für allgemeine Beleuchtung in Frage kämen. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den realen Strahlern. Nach L um m m e r und K o h n liegt für blankes Platin die günstigste Lichtausbeute bei  $5900^{\circ}$  mit  $8,0 \text{ HK}_0/\text{W}$ . Zusammenfassend ergibt sich also, daß die Strahlungsgesetze vorschreiben, einen Glühkörper zu verwenden, welcher erstens möglichst hoch belastet werden kann und zweitens möglichst selektive Strahlungseigenschaften aufweist.

Da das Wolfram diese Forderungen am besten erfüllt, hat es den vollen Sieg davongetragen. Die modernen Lampen bergen ohne Ausnahme einen Leuchtdraht aus Wolframmetall.

Aber selbst in den besten Lampen mit einem spezifischen Effektverbrauch von  $0,55 \text{ W/HK}$  ist die Energieausbeute außerordentlich gering. Durch Wärmeleitung und Strahlung gehen, wie wir sahen, nicht weniger als  $90,5\%$  der aufgewandten Energie verloren, bei den gewöhnlichen Wolframvakuumlampen  $95,4\%$ . Wenn man bedenkt, daß Umsatz und Transport der Energie von der Steinkohle an bis zu den Polen der Glühlampe mit einem Verlust von (günstig

gerechnet) 92 % verbunden ist, so daß in unseren gebräuchlichen Wolframlampen nicht mehr als 0,37 % der in der Steinkohle schlummernden Energie in Licht umgewandelt wird, muß man zu der Erkenntnis kommen, daß wir trotz allen äußersten Glanzes der modernen Beleuchtung hinsichtlich der Ausnutzung der Energie bei der Lichterzeugung seit den Zeiten des grauesten Altertums kaum einen Fortschritt zu verzeichnen haben. Trotzdem bleibt die elektrische Be-

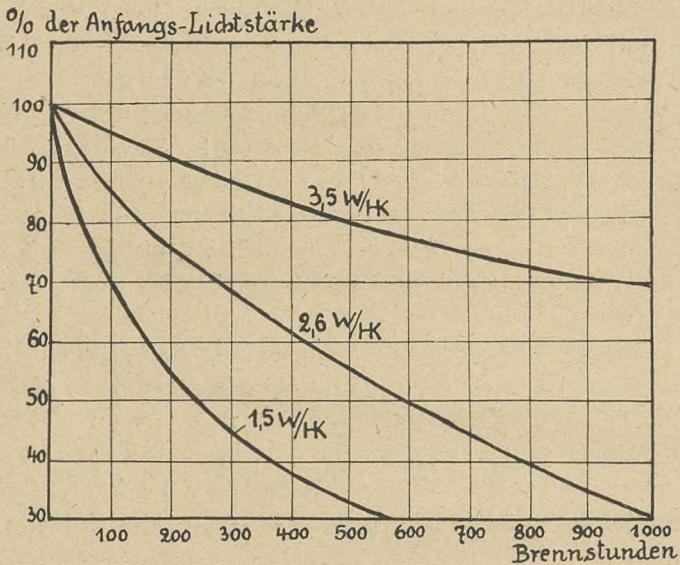


Abb. 7.

leuchtung eine technische Errungenschaft ersten Ranges. Auf Grund ihrer vielseitigen Vorteile, wie Sauberkeit und Gefahrlosigkeit im Gebrauch, bequeme Bedienung und nicht zuletzt ihrer Vielseitigkeit und Anpassungsfähigkeit an alle nur denkbaren Verhältnisse konnte die elektrische Lampe ihren Siegeszug durch die ganze Welt antreten.

### 3. Praktische Belastungsgrenzen des Leuchtkörpers.

Um zu verhüten, daß die glühenden Leuchtkörper beim Betrieb der Lampen verbrennen, werden sie in Glasglocken

eingeschlossen, aus welchen man die sauerstoffhaltige Luft möglichst restlos entfernt. Die Belastung des Glühkörpers findet dann offenbar eine natürliche Grenze in dem Schmelzpunkt des benutzten Materials. Es kommt also darauf an, Substanzen von möglichst hohem Schmelzpunkt als Leuchtkörper zu verwenden. Die Schmelzpunkte der in Frage kommenden Materialien sind in Tabelle 5 verzeichnet. Danach müßte die Kohle mit ihrem enorm hohen Schmelzpunkt

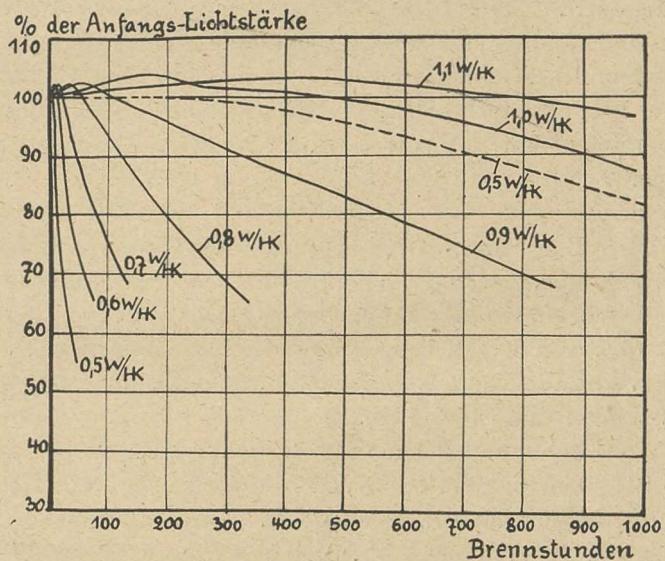


Abb. 8.

T a b e l l e 5.

Material	Schmelzpunkt ° C
Kohle . . . . .	über 4000
Tantal . . . . .	2800
Wolfram . . . . .	3000

von ungefähr  $4400^{\circ}$  C bei weitem am besten als Glühkörpermaterial geeignet sein. Das ist aber nicht der Fall, da ein

wichtiges Moment die Belastungsmöglichkeit zu ungünstigen des Kohlenstoffes und zugunsten des Wolframs, dessen Schmelzpunkt weit tiefer liegt, verschiebt. Es zeigt sich nämlich, daß bereits weit unterhalb der Schmelztemperatur eine allmähliche Zerstörung des Glühfadens eintritt, indem derselbe einem Zerstäubungsprozeß verfällt. Der feine Staub setzt sich auf der Glasglocke als ein dunkler Beschlag ab und bewirkt eine Herabminderung der Lichtintensität der Lampen. Eine Abnahme der ursprünglichen Leuchtkraft einer Lampe um 20% erachtet man als wirtschaftlich zulässig und bezeichnet diejenige Zeit, nach welcher die Lichtstärke bei ununterbrochenem Leuchten um diesen Betrag abgenommen hat, als die „Nutzbrenndauer“ der Lampe.

Die Abnahme der Lichtstärke mit der Zeit bei verschiedenen Belastungen für je eine Kohlefadenlampe und eine Wolframlampe, zeigen die Abb. 7 und 8. Bei der Kohlefadenlampe beträgt die Nutzbrenndauer, also die Zeit, nach welcher die Lichtstärke auf 80% herabgesunken ist, bei einem spezifischen Effektverbrauch von 1,5 W/HK nur 60 Stunden, bei 2,6 W/HK 150 Stunden und bei 3,5 W/HK fast 500 Stunden, während eine Wolframlampe bei einem Nutzeffekt von 1 W/HK über 1000 Stunden und bei 0,9 W/HK immer noch 800 Stunden Nutzbrenndauer aufzuweisen pflegt. Das anfängliche Ansteigen der Kurven der Abb. 8 deutet darauf hin, daß die Lichtstärke der Lampe zunächst zunimmt. Das Dünnerwerden des Fadens hat eine Erhöhung der Temperatur zur Folge, und der Altersbeschlag ist anfänglich noch so schwach, daß er die Lichtintensität nicht merklich vermindert. Man belastet die Wolframlampen gewöhnlich mit 1,1 W/HK und rechnet mit einer Nutzbrenndauer von 1000 Stunden.

Die Beanspruchung des Leuchtfadens während des Betriebes ist außerordentlich hoch: Man vergegenwärtige sich, daß der Faden Temperaturen zu ertragen hat, welche in der Technik kaum vorkommen, außerdem mit einer ungewöhn-

lich hohen Stromdichte belastet ist. Die Enden des Leuchtfadens stehen unter einer bedeutenden Spannungsdifferenz, die sich durch den hochverdünnten Luftraum auszugleichen sucht. Auch der mit dem Ein- und Ausschalten verbundene Stromstoß wirkt zerstörend auf den zarten Faden ein.

Obwohl über die Ursachen der Zerstäubung zahlreiche, sehr sorgfältige Untersuchungen angestellt worden sind, ist doch diese Frage noch wenig geklärt. Einen sehr schädlichen Einfluß üben die beim Auspumpen in der Lampe verbliebenen Gasreste aus. Einen absolut gasfreien Raum zu schaffen, ist technisch überhaupt unmöglich, weil das Glas und die Drähte mit solcher Hartnäckigkeit Gase adsorbiert halten, daß sie während des Pumpens nicht entfernt werden können und erst ganz allmählich in den Gasraum abgegeben werden. Die zurückbleibenden Gase sind Wasserstoff, Wasserdampf, Sauerstoff und Stickstoff und in den Kohlefadenlampen neben diesen noch Kohlenwasserstoff. Diese äußerst dünne Restatmosphäre wirkt ununterbrochen auf den glühenden Kohlefaden ein, indem sie mit dem Kohlenstoff flüchtige Verbindungen eingeht, welche bei tieferer Temperatur unter Abscheidung von Kohlenstoff wieder zerfallen. Dieser setzt sich dann auf der Glockenwandung ab. In Wolframlampen sind die Wasserdämpfe ganz besonders schädlich, nach Untersuchungen von Langmuir und Orang<sup>1)</sup> bis hinab zu einem Partialdruck von  $1/10000$  mm Hg<sup>2)</sup>. Der Vorgang scheint sich in der Weise abzuspielen, daß der Wasserdampf sich infolge der hohen Temperatur in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Dieser letztere verbindet sich mit dem Wolfram zu Oxyden, welche flüchtig sind und auf dem Wege zur Glaswand durch den freien Wasserstoff wieder zu Metall reduziert werden. Das dabei sich bildende Wasser tritt von neuem in Wirksamkeit, während sich das Metall auf der Glaswand als dunkler Spiegel absetzt.

<sup>1)</sup> Langmuir und Orang, Electr. World 62 798, 1913.

<sup>2)</sup> Vielfach wird der Druck eines Gases in der Länge einer Quecksilbersäule (mm Hg) angegeben, welche ihm das Gleichgewicht hält.

Die Gase begünstigen auch Vorgänge elektrischer Natur, welche als Edisoneffekt bezeichnet werden und ebenfalls zur Zerstörung des Leuchtkörpers beitragen. Da die benachbarten Fadenbügel und besonders die Elektroden unter einer Potentialdifferenz stehen und der Gasraum beim Vorhandensein eines gewissen Druckes leitend wird (Plücker-Crookesche Röhren usw.), kann es vorkommen, daß der Ausgleich direkt von einem Schenkel des Leuchtfadens zum anderen erfolgt, was zuweilen sogar zu Kurzschlüssen führt, welche die Leuchtkörper bzw. Elektroden schnell zerstören. Bei den Entladungen pflegt sich ein blauer Lichtschein bemerkbar zu machen.

Es ist somit erklärlich, daß auf die Entfernung der Restgase aus den Lampen große Sorgfalt verwendet wird.

Die Restgase sind aber nicht die einzige Ursache für die Zerstörung des Leuchtkörpers. Beim Durchgang des Stromes stehen die Elektronen unter einem gewissen Druck, welcher dieselben aus dem Draht nach außen treibt, wobei feine Substanzeilchen mitgerissen werden können. Die Elektronen machen die Gasatmosphäre durch „Ionensstoß“ leitend und rufen den Edisoneffekt hervor. Von einer eigentlichen „Verdampfung der Fäden“ kann nicht die Rede sein, weil der Dampfdruck des Wolframs außerordentlich niedrig ist.

Nach neuesten Untersuchungen, welche von A. Goetz<sup>1)</sup> mit Hilfe des Mikroskops ausgeführt wurden, ist die Zerstäubung zur Hauptsache auf die Wirksamkeit der im Innern der Drähte okkludierten Gase zurückzuführen. Bevor die Drähte vom Strom durchflossen sind, weisen sie ein kleinkristallines Gefüge auf (vgl. Abb. 34). Unter dem Einfluß der hohen Temperatur und des elektrischen Stromes wachsen die größeren Kristalle auf Kosten der kleineren (vgl. S. 62): Der Draht geht in den grobkristallinen Zustand über und wird dadurch sehr brüchig. Die Umwandlung ist besonders ausgeprägt bei Glühlampen, welche mit Wechselstrom betrieben werden. Abb. 9

<sup>1)</sup> A. Goetz. Physik. Zeitschrift S. 136, 1922.

zeigt vergrößert einen Tantaldraht, welcher mehrere tausend Stunden im Wechselstrom gegläht wurde. Da die einzelnen Kristalle oft gegeneinander versetzt sind, so ist der Übergangswiderstand von Kristall zu Kristall sehr groß. Folglich wird der Draht an diesen Stellen sehr leicht durchschmelzen. Zur Erhöhung der Festigkeit der Drähte setzt man dem Wolfram geringe Mengen (1 bis  $2\frac{1}{2}\%$ ) Thorium- oder Kalziumoxyd zu.

Es wurde bereits erwähnt, daß feste Körper das Bestreben haben, Gase in sich aufzunehmen. Während nun Wolfram ein sehr geringes Okklusionsvermögen für Gase zeigt, ist das der genannten Zwischensubstanz nach den Untersu-

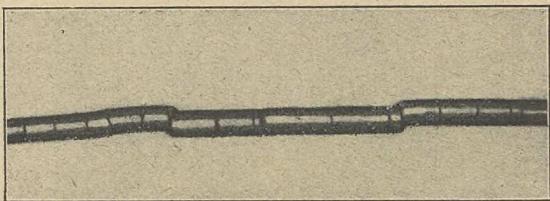


Abb. 9.

chungen von A. Goetz sehr vielgrößer. Bei zunehmender Temperatur wird aber dieses Okklusionsvermögen geringer. Die Folge davon ist, daß die absorbierten Gase abgegeben werden und an Druck zunehmen. Erfolgt die Erwärmung rasch, so kann eine langsame Diffusion (siehe S. 162) zwischen den Kristallitspalten nicht mehr stattfinden, das Kristallgefüge des Drahtes wird verschoben, es treten Zerreißungen an der Oberfläche ein und die äußersten Kristallite werden weggeschleudert. Im Innern bilden sich einzelne Blasen, die unter Umständen stark anwachsen. Abb. 10 zeigt ein Stück eines geschliffenen und polierten Drahtes, welcher sich im Anfangsstadium der Zerstäubung befindet, in 6000 facher Vergrößerung. Das Flächenstückchen ist also in Wirklichkeit etwa  $1/10000$  qmm groß, liegt also an der Grenze der Wahrnehmbarkeit mit bloßem Auge. Die Zwischensubstanz und die Gasbläschen

sind deutlich erkennbar. Der Draht würde noch schneller zerstört werden, wenn nicht gleichzeitig eine Befestigung der Kristallite untereinander dadurch bewirkt würde, daß die Zwischensubstanzstreifen sich zu größeren Komplexen zusammenschließen und somit an Zahl abnehmen. Infolgedessen liegen die Kristallite fast direkt aneinander, so daß

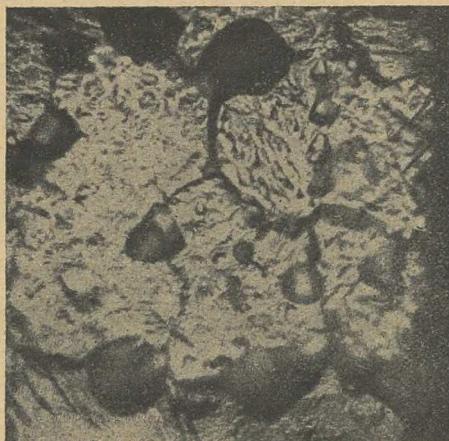


Abb. 10.

das Gefüge bedeutend widerstandsfähiger wird. Nach dem Erkalten des Drahtes steigt wieder das Okklusionsvermögen und der Draht absorbiert von neuem Gase. So wird das Gefüge infolge des häufigen Ein- und Ausschaltens aufgelöst. Hohe Glühtemperaturen und schlechtes Vakuum beschleunigen den Effekt.

---

---

## B. Die Entwicklung des elektrischen Glühlichts.

### I. Erste Anfänge — die Kohlefadenlampe.

Bereits in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts sind zahlreiche Versuche und Vorschläge gemacht worden, die Wärmewirkung des elektrischen Stromes für die Beleuchtung nutzbar zu machen. Als Glühkörper dienten die Metalle Platin und Iridium und späterhin auch Fäden aus Kohle. Doch all diese Bestrebungen führten zu keinen brauchbaren Resultaten, weil einerseits die verwendeten Metalle einen zu niedrigen Schmelzpunkt und einen zu geringen spezifischen Widerstand besaßen und es andererseits nicht gelang, Kohlefäden von genügender Gleichmäßigkeit herzustellen.

Auch verstand man es noch nicht, einen dauernden elektrischen Strom von genügender Stärke und Gleichförmigkeit zu erzeugen. Diese für eine elektrische Beleuchtung unbedingt nötige Grundlage wurde geschaffen durch die Erfindung und Vervollkommnung der Dynamomaschine in den 60er und 70er Jahren.

Im Jahre 1878 gelang es dann den amerikanischen Erfindern Sawyer und Man, brauchbare Glühlampen mit Kohlefäden aus Papier und Holzfaser, welche durch Präparieren in schweren Kohlenwasserstoffen einen ziemlich gleichmäßigen Querschnitt erlangten, herzustellen. Die gleichmäßige Dicke der Fäden ist deshalb von so großer Bedeutung, weil die schwächeren Stellen beim Brennen der Lampe am stärksten erwärmt werden und infolgedessen schneller durchbrennen.

Auch Edison, welcher bisher mit großer Energie an der Konstruktion von Platinlampen gearbeitet hatte, bekehrte sich zu der Ansicht, daß der Kohlenstoff das einzige brauchbare Material für Glühlampen sei und stellte aus dem dichten Bambus ohne Präparieren recht gleichmäßige Fäden her. Edison hatte im Mai 1880 den ersten Erfolg in der praktischen Anwendung der Glühlampe zu verzeichnen, indem er die erste Beleuchtungsanlage auf dem Dampfer Columbia in Betrieb setzte.

Um diese Zeit nimmt die eigentliche Entwicklung der elektrischen Glühlampe ihren Anfang. Die Jahre bis Ende des 19. Jahrhunderts waren der Vervollkommenung der Kohlefädenlampe gewidmet, um deren Ausbau auch durch Konstruktion der für die Herstellung benötigten Maschinen und Apparate sich eine sehr große Anzahl von Erfindern verdient gemacht haben. Von diesen seien H. S. Maxim und S. W. Swan besonders genannt.

In dieser Zeit wurden die Lampen soweit verbessert, daß ihr spezifischer Effektverbrauch sich von 5 auf 3,5 W/HK verringerte. Gleichzeitig gestatteten die verbesserten Lampen die Anwendung einer Betriebsspannung bis zu etwa 250 Volt, während anfänglich nur Lampen bis zu 130 Volt Spannung hergestellt werden konnten. Die erhöhte Betriebsspannung ist für eine rationelle Energieübertragung auf weite Strecken von großer Wichtigkeit und trug bei zu einer immer weiteren Verbreitung der elektrischen Beleuchtung.

Die Herstellung von Kohlefäden soll bereits an dieser Stelle kurz angedeutet werden. In Anbetracht der untergeordneten Bedeutung der Kohlefädenlampen für die moderne Beleuchtung wird aber von einer ausführlichen Beschreibung in diesem Büchlein abgesehen.

Das Ausgangsmaterial ist die Nitrozellulose, und zwar solche mit einem Stickstoffgehalt von etwa 11 bis 12 %. Diese wird in der fünf- bis zehnfachen Menge 90 %igem Eis-

essig zu einer sirupartigen Flüssigkeit aufgelöst, aus welcher man Fäden preßt.

Nach sorgfältigem Auswaschen werden die Fäden denitriert, um die explosive Nitrozellulose in Zellulose überzuführen. Zumeist erfolgt das Denitrieren in der Weise, daß man die Fäden mehrere Stunden der Einwirkung von gelbem Schwefelammon aussetzt. Nach abermaligem Auswaschen werden die Fäden auf eine Trommel aufgehaspelt und getrocknet. Die Trommeln müssen so beschaffen sein, daß sie ein während des Trocknens eintretendes Zusammenschrumpfen der Fäden gestatten, ohne daß dieselben zerreißen. Nach dem Trocknen sind Fäden von guter Be-

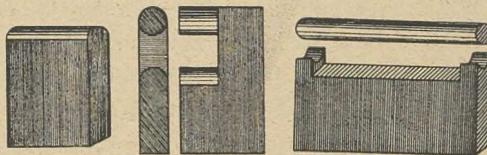


Abb. 11.

schaffenheit um etwa 65 % dünner als die Durchmesser der Düsen, aus welchen sie gespritzt wurden.

Dann werden die Fäden in der erforderlichen Länge zerschnitten und durch Biegen über einen erwärmten Metalldorn in die gewünschte Form (Bügel oder Spiralen) gebracht und hierauf bündelweise über graphitene Glühformen gelegt, wie sie in Abb. 11 in einfachster Ausführung gezeigt sind.

Diese Formen werden in fest verschließbaren Graphitmuffeln zur Verdrängung der Luft mit Kohlenpulver fest verpackt und in geeigneten Öfen bei ganz allmählich gesteigerter Temperatur bis zur Weißglut erhitzt, wodurch die Zellulosefäden verkohlen. Dabei erfahren die Fäden abermals eine Schrumpfung von etwa 40 %.

Die Kohlefäden werden nunmehr der Präparatur unterzogen, einem Verfahren, welches eine wertvolle Verbesserung der Glühkohlen ermöglicht.

Die Glühfäden werden in einer Kohlenwasserstoffatmosphäre, Benzin- oder Ligroindampf u. a. von etwa 30 mm Druck durch den elektrischen Strom zum Glühen gebracht. Durch die Hitze werden die Kohlenwasserstoffgase zerlegt; feine Kohlenteilchen setzen sich auf dem Faden ab und bedecken ihn mit einer harten, graphitähnlichen Schicht. Je höher die Temperatur ist, um so schneller wird der Kohlenstoff abgeschieden, so daß die dünneren und heller glühenden Stellen des Fadens mehr mit Kohle bedeckt werden, als die stärkeren Stellen. Dadurch erlangt der Faden einen sehr hohen Grad von Gleichmäßigkeit.

Der dichte Graphitüberzug selbst erniedrigt den spezifischen Widerstand und erhöht die Widerstandsfähigkeit des Fadens gegenüber hohen Temperaturen. Er kann infolgedessen höher belastet werden, was eine Verbesserung der Ökonomie der Lampe unmittelbar zur Folge hat.

Die fertigen Fäden haben einen grauschwarzen, metallischen Glanz und sollen einen dichten, gleichmäßigen Bruch aufweisen.

Auf anderem Wege gelangt man zu Kohlefäden, indem man eine Paste aus feinst verteilem reinen Kohlenstoff und einem organischen Bindemittel durch Düsen preßt, welche am besten aus Diamant bestehen. Als Bindemittel eignen sich vielerlei Stoffe. Siemens & Halske benutzt eine Lösung von Bakelit<sup>1)</sup>). Dieser erzeugt beim Erhitzen eine feste, gleichmäßige Kohle und besitzt in sehr geringen Mengen angewandt schon hohe Bindekraft. Man bekommt daher Kohlefäden von sehr gleichmäßiger Struktur und geringer Porosität. Sind die Fäden noch zu porös, so können sie durch nachträgliches Tränken mit diesem oder einem anderen Bindemittel und erneutes Erhitzen dichter gemacht werden. Das Tränken der Kohle geschieht zweckmäßig im Vakuum.

Eine Kohlefadenlampe zeigt Abb. 12. Die Fäden werden an den Elektroden mit einem Kitt aus Graphitpulver und einem organischen Bindemittel befestigt oder man

<sup>1)</sup> D. R. P. Nr. 281 015 vom 12. Februar 1914. — Bakelit ist ein Kunstharz, hergestellt durch Kondensation von Phenol mit Formaldehyd.

bringt das Füßchen mit dem Faden in flüssigen Kohlenwasserstoff (Benzin, Vaselinöl u. a.), verbindet Faden und Elektrode in der Nähe der Verbindungsstelle mit einer elektrischen Leitung und schlägt mittels eines Stromes von geeigneter Stärke Kohle auf die Verbindungsstelle nieder.

Im Jahre 1903 erfuhr die Kohlefädenlampe eine weitere grundlegende Verbesserung durch das Verfahren von Howell und Whitney, sog. metallisierte Kohlefäden herzustellen, (M. K.-Lampen). Nach diesem Verfahren werden die gewöhnlichen Kohlefäden nochmals auf mehr als  $3500^{\circ}$  erhitzt, wodurch auch der innere Kern, der ursprüngliche Zellulosefaden, eine dichtere Struktur annimmt und ebenfalls in die graphithähnliche Modifikation umgewandelt wird. Dies hat zur Folge, daß die Lampen noch höher belastet werden können, so daß der Effektverbrauch bis auf 2,2 W/HK sinkt. Diese metallisierten Kohlefäden zeigen ferner dieselbe Eigentümlichkeit wie die Metalle, daß ihr spezifischer Widerstand mit erhöhter Temperatur abnimmt. Die M. K.-Lampe konnte, wenigstens in Europa, keine größere Verbreitung mehr finden, da hier bereits die Lampen mit metallischem Leuchtkörper ihre Überlegenheit über die Kohlefädenlampe dargetan hatten. Ihrer großen Stoßfestigkeit halber werden die Kohlefädenlampen noch heute ganz vereinzelt angewandt. Im übrigen finden sie als Vorschaltwiderstand in elektrischen Leitungen Verwendung.

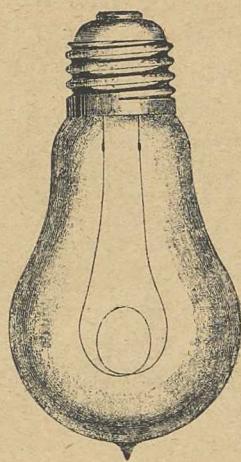


Abb. 12.

## 2. Die Nernstlampe.

Schon viele Jahre vorher hatte man sich bemüht, ein Ersatzmaterial für die Kohle ausfindig zu machen, um sparsamer brennende Lampen zu konstruieren. In der Tat er-

stand der Kohlefadenlampe in einer von Prof. Nernst in Göttingen erfundenen Glühlampe, welche im Jahre 1900 auf den Markt kam, eine gefährliche Konkurrentin.

Die Nernstlampe ist eine Freiluftlampe. Ihr Leuchtkörper besteht aus hochfeuerfesten, unverbrennlichen Oxyden der seltenen Erdmetalle, vor allem aus Thor- und Zirkonoxyd unter Zusatz von basischen Oxyden der Yttriumgruppe. Derselbe kann höher erhitzt werden als der Kohlefaden und hat ganz bedeutende selektive Strahlungseigenschaften.

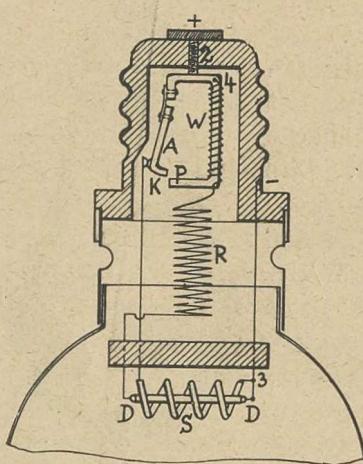


Abb. 13.

W die Wicklung eines Elektromagneten, P dessen Pol, A einen Anker. Der Strom verzweigt sich beim Eintritt in die Lampe (unter 2) und geht zunächst über R nach S. Sobald der Leuchtkörper D D vom Strom durchflossen wird, wird der Anker A angezogen und die Vorwärmespule S bei K ausgeschaltet. Der Vorschaltwiderstand R bewahrt den selbst gegen geringe Stromschwankungen sehr empfindlichen Glühkörper vor Überlastung.

Der Stromverbrauch der Nernstlampe belief sich auf 1,5 bis 1,8 Watt für die Hefnerkerze, allerdings bei einer Brenndauer von nur 400 Stunden. Das bedeutete gegen-

Allerdings wird der Leuchtkörper erst bei höherer Temperatur stromleitend, so daß er von einem Heizkörper vorgewärmt werden muß, welcher den Leuchtkörper in schraubenförmigen Windungen umgibt oder diesem schlangenförmig gewunden benachbart angeordnet ist. In Abb. 13 ist eine Nernstlampe gezeichnet. S ist die Vorwärmespule, welche nach eingetretener Wirkung selbsttätig ausgeschaltet wird. D D bezeichnet den Leuchtkörper, R einen Vorschaltwiderstand,

über der Kohlenfadenlampe eine ganz erhebliche Stromersparnis.

Nernstlampen werden heute nur noch wenig hergestellt. Hier und da finden sie noch wegen ihrer starken Lichtkonzentration als Projektionslampen Verwendung.

### 3. Die Osmiumlampe.

1898 erhielt Auer von Welsbach ein Patent auf eine Glühlampe, deren Glühkörper aus Osmium bestand.

Das Osmium hat einen sehr hohen Schmelzpunkt (gegen  $2500^{\circ}$ ) und ist der schwerste aller Körper (ein Zentimeterwürfel wiegt 22,5 g). Es hat, ähnlich wie das Zink, einen bläulich-weißen Metallglanz. Wegen seiner großen Sprödigkeit war es trotz langer Bemühungen nicht gelungen, das Metall durch das gebräuchliche Walzen und Ziehen in die für Glühlampen benötigte feine Drahtform zu bringen. Aber Auer von Welsbach gelangte auf anderem Wege zum Ziel. Er überzog dünne Platindrähte mit einer Schicht von Osmium oder Osmiumverbindungen durch wiederholtes Bestreichen des Drahtes mit einem dünnen osmiumhaltigen Brei und trieb durch Erhitzen des Drahtes das leichter flüchtige Platin heraus und erhielt so einen röhrenförmigen Faden einer Osmium-Platinlegierung. Durch allmähliche Temperaturerhöhung kann aus dieser das Platin vollständig vertrieben werden, was aber nur gelingt, wenn die Legierung weniger als 5% Platin enthält, da andernfalls nicht das Platin allein, sondern die ganze Legierung verdampfen würde. Da die Platindrähte nicht in der gewünschten Feinheit herstellbar waren, und nach obigen Angaben mindestens die 20fache Osmiummenge auf die Platinseele aufgetragen werden mußte, wurden die Osmiumfäden so dick, daß die Lampen nur für niedrige Spannungen herstellbar waren.

Der Osmiumüberzug ist auch auf folgende Weise erhalten worden. Man erhitzt den Platindräht in einer Atmosphäre, welche Dämpfe einer Osmium-Sauerstoffverbindung

(Überosmiumsäure) und Kohlenwasserstoffdämpfe enthält. Durch Verbrennen der Kohlenwasserstoffe mit Hilfe des Sauerstoffes der Überosmiumsäure wird diese letztere zu Osmium reduziert, welches sich in sehr feiner Verteilung auf dem Platindraht niederschlägt.

Zur Erzielung feiner Drähte wurde ein anderes, das Osmiumkohleverfahren, eingeschlagen. Man stellte osmiumhaltige Kohlefäden her, indem man u. a. einen Brei aus feinverteiltem Osmium und einer organischen Substanz durch enge Diamantdüsen preßte und die erhaltenen Fäden verkohlte. Diese Fäden wurden durch den sog. Formierprozeß in reines Osmium verwandelt, indem man sie in einem mit Wasserstoff und Wasserdampf angefüllten Raum zum Glühen brachte.

Um den Fäden einen noch gleichmäßigeren Querschnitt zu verleihen, behandelt man sie ähnlich, wie es bereits bei den Kohlefäden beschrieben worden ist. Nur treten an die Stelle der Kohlenwasserstoffe Dämpfe von Überosmiumsäure.

Die Osmiumlampe kam 1902 auf den Markt und wurde bis zum Jahre 1906 hergestellt. Sie war die erste praktisch verwendete Metallfadenlampe und erforderte als solche zum erstenmal die Lösung der Aufgabe, einen sehr langen Metallfaden in der Lampe unterzubringen. Das war um so schwieriger, als der Osmiumfaden bei Betriebstemperatur weich wird. In der Tat gelang die Halterung nur sehr unvollkommen. Der Leuchtkörper bestand aus zwei oder drei Osmiumbügeln, welche durch einige in die Glockenwand eingeschmolzene Haken aus Thoriumoxyd oder Gemischen ähnlicher feuerfester Oxyde gestützt wurden. Zunächst konnten nur 16- bis 32kerzige Lampen, und diese nur für Spannungen bis zu 75 Volt hergestellt werden. Es mußten zwei bis drei Lampen in Reihe geschaltet werden, um bei der damals gebräuchlichen Netzspannung von 110 Volt betriebsfähig zu sein. Dabei mußten die Lampen stets senkrecht mit der Spitze nach unten angeordnet werden. Erst im Jahre 1905 war die Lampe technisch soweit durchgebildet,

daß sie für Spannungen bis zu 110 Volt gebaut und in jeder beliebigen Lage angeordnet werden konnte.

Der spezifische Effektverbrauch betrug nur 1,5 bis 1,7 W/HK bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von weit über 1000 Stunden. Die Lichtabnahme war selbst nach dieser Zeit sehr gering, doch war eine höhere Belastung nicht möglich, da sich alsdann Kristallisierungsvorgänge in dem Draht einstellten, welche denselben brüchig und schnell unbrauchbar machten.

Die Osmiumlampe konnte ebensowenig wie die Nernstlampe das Publikum voll befriedigen. Während die Nernstlampe den Fehler hatte, daß sie nach dem Einschalten des Stromes nicht sofort Licht gab, war die Osmiumlampe gegen Erschütterungen zu empfindlich, außerdem wegen der Seltenheit des Osmiums zu teuer.

#### 4. Die Tantallampe.

Alle diese Mängel wurden voll und ganz beseitigt durch eine neue elektrische Glühlampe, deren Glühkörper aus Tantalmetall hergestellt war. Diese Lampe kam 1915 in den Handel und hat in der ganzen Welt weite Verbreitung gefunden.

Das Tantal findet sich vornehmlich in den Mineralien Tantalit, Columbit und Niobit in Finnland, Maine, Green-Busch (Australien), im Böhmerwald, Ural, Südnorwegen und Grönland. Es wurde 1802 von Ekeberg entdeckt, blieb lange Zeit fast unbeachtet, bis es vornehmlich durch die Verdienste Werner von Boltons in der Glühlampenindustrie eine so große technische Bedeutung erlangte.

Zur Reindarstellung des Tantals wird Tantalkaliumfluorid mit Hilfe von Natriummetall reduziert und das so erhaltene grauschwarze Tantalpulver durch mehrmaliges Umschmelzen im elektrischen Lichtbogen eines Vakuumofens gereinigt.

Das Tantal ist in reinem Zustand von stahlähnlichem Glanz und besitzt die Festigkeit von bestgehärtetem Stahl.

Dabei läßt es sich wie kaum ein anderes Metall bei gewöhnlicher Temperatur mechanisch bearbeiten, so daß es durch Walzen und Ziehen bequem zu Drähten von kleinstem Durchmesser verarbeitet werden konnte. In der Tat wurden auf diesem Wege die Tantalleuchtdrähte hergestellt, so daß die Tantallampe die erste Glühlampe mit gezogenem Draht — die erste Metall d r a h t l a m p e — darstellt.

Der Schmelzpunkt des Tantals liegt nach Messungen von v. Pirani und Meyer bei etwa  $2850^{\circ}$  C, während die Betriebs-temperatur der Lampen um etwa  $1000^{\circ}$  tiefer liegt.

Infolge des außerordentlich geringen spezifischen Widerstandes von nur  $0,165 \Omega$  für 1 qmm und m mußten die Drähte ungewöhnlich lang genommen werden. Während die Gesamtfadenlänge einer Kohlenfadenlampe von 110 Volt und 25 Kerzen etwa 23 cm betrug, mußte der Tantaldraht für dieselbe Spannung und Lichtstärke nicht weniger als 65 cm lang sein. Die Unterbringung eines solchen Drahtes in einer kleinen, gefälligen Glasglocke gestaltete sich um so schwieriger, als der Tantaldraht ähnlich wie die Osmiumfäden beim Glühen weich wurde und sich außerdem nach und nach beträchtlich zusammenzog. Nach vielen Mühen wurde das Problem in befriedigender Weise dadurch gelöst, daß ein gewellter Tantaldraht lose über ein besonderes Traggestell gespannt wurde, welches aus einem mittleren Glasstab mit mehreren Kränzen von Halterdrähtchen bestand. Diese Halterung ist den Glühlampen bis heute eigentümlich geblieben. Die Halter bestanden aus Kupferdrähten und mußten ziemlich stark sein, damit die Wärmeableitung an den Berührungsstellen des Leuchtdrahtes so schnell vor sich ging, daß die Kupferbügel nicht durchschmolzen. Dieses Wickelprinzip ist der Firma Siemens & Halske, welche die Tantallampen herstellte, durch Patente geschützt worden.

Die Tantallampen wurden gebaut für Spannungen bis zu 240 Volt und Leistungen bis zu 50 Kerzen. Sie verbrauchten für eine horizontale Hefnerkerze 1,5 bis 1,7 Watt bei einer Nutzbrenndauer von 600 bis 800 Stunden.

Tantallampen werden heute nicht mehr angefertigt. Jahrlang konnten sie sich wegen ihrer großen Erschütterungsfestigkeit neben den nunmehr aufkommenden, aber noch sehr empfindlichen Wolframfadenlampen behaupten. Schließlich wurden sie aber von den Lampen mit gezogenem Wolframdraht vollständig verdrängt.

Außerordentlich zahlreich sind die Patente, welche sich auf die Herstellung von Glühfäden aus anderen Substanzen und Substanzkombinationen beziehen. Von diesen Patenten haben nur wenige eine geringe, die meisten jedoch keinerlei praktische Bedeutung erlangt. Erwähnt sei nur die Zirkonlampe von Dr. Hollefreund.

## 5. Die Wolframlampe.

Das Wolfram ist unter den Metallen für Glühlampen am besten geeignet, da es den höchsten Schmelzpunkt hat und in den Glühlampen bei hoher Brenndauer auf 1,2 bis 1,0 W/HK belastet werden kann. Deshalb werden die Leuchtkörper der Metalldrahtlampen heute ausschließlich aus Wolfram hergestellt. Aus diesem Grunde ist dieses Buch der Herstellung der Wolframlampe speziell gewidmet. Um eine Übersicht über die praktische Ausgestaltung der Glühlampen zu geben, sei eine kleine Auswahl von fertigen Lampen im Bilde dargestellt und einige Tabellen wiedergegeben, welche über die wichtigsten Daten der Glühlampen einiger führender Firmen Aufschluß geben.

Die drei bedeutendsten Firmen, die Osram G. m. b. H., die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft m. b. H. und die Siemens & Halske A.-G. stellen ihre Osram-, A. E. G.- und Wotanlampen jetzt in gleichen Typen und gleichen Abmessungen her. Die Tabelle 6 enthält die horizontale Lichtstärke, die Spannung und den spezifischen Effekt-

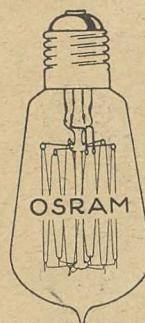


Abb. 14.

verbrauch von Vakuumlampen mit geradlinigem Leuchtdraht, gemäß Abb. 14.

T a b e l l e 6.

Lichtstärke HK horizontal	Spannung Volt	Spez. Effekt- verbrauch W/HK	Lichtstärke HK horizontal	Spannung Volt	Spez. Effekt- verbrauch W/HK
5	90—139	1,3		90—139	0,95
10	{ 90—169 { 170—266	{ 1,2 { 1,3	32—40	{ 140—169 { 170—260	{ 1,0 { 1,1
16	{ 90—139 { 140—260	{ 1,0 { 1,2	50	90—139 140—169	0,9 0,92
20	{ 90—139 { 140—169	{ 1,0 { 1,1	50	170—260	1,1
20	170—260	1,2	75—100	17—149	0,9
25	90—139	0,95	75—100	150—260	1,0
25	{ 140—169 { 170—260	{ 1,1 { 1,1			

Großer Beliebtheit erfreuen sich gegenwärtig auch solche Vakuumlampen, deren Leuchtdraht nach Art der gasgefüllten Lampen schraubenförmig gewunden ist. Eine solche Lampe ist in Abb. 15 gezeichnet.

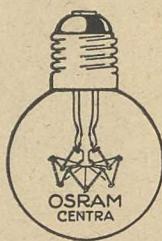


Abb. 15.

Durch die konzentrische Anordnung des Leuchtkörpers nimmt die Lampe eine kleine gefällige Form an, und der Draht neigt bei starken Erschütterungen weniger zu Verschlingungen, als bei Lampen mit glattem Draht. Infolge der durch die kleinere Lampenglocke bedingten höheren Erhitzung derselben hat man allerdings mit einer kürzeren Brenndauer zu rechnen, da das Glas bei höheren Temperaturen nach und nach Gase und Dämpfe abgibt, welche die Schwärzung der Glocken beschleunigen. Außerdem wird infolge der vielfachen Reflexion von Wärme- und Lichtstrahlen innerhalb der Spiralen die hier liegende Oberfläche auf eine höhere Temperatur gebracht als die äußere. Die Folge davon ist eine intensivere Zerstäubung; man ist deshalb genötigt, diese

Lampen mit einem höheren spezifischen Wattverbrauch herzustellen. Da dieser Übelstand um so fühlbarer wird, je

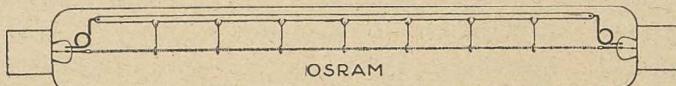


Abb. 16.

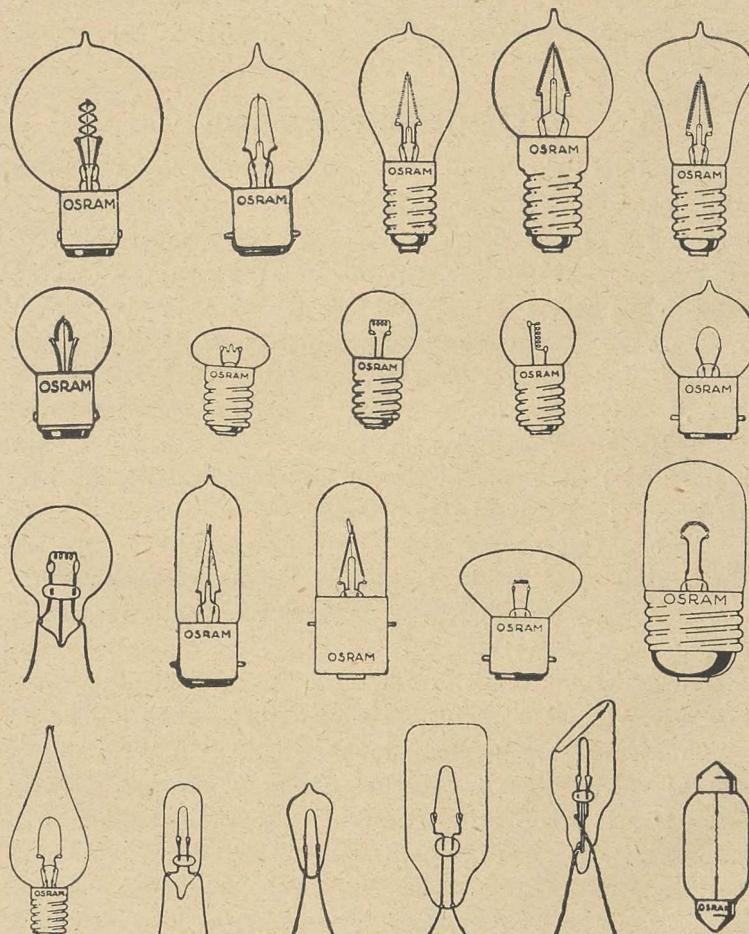


Abb. 17.

größer der Drahtdurchmesser ist, so werden Vakuumspiral drahtlampen nur bis zu 60 Watt angefertigt.

Für Schaufensterbeleuchtung usw. sind die Soffitten lampen oft gut geeignet. Eine solche Lampe ist in Abb. 16 dargestellt. Dieselbe hat eine langgestreckte, zylindrische Form und einen geraden, schraubenförmig gewundenen Leuchtdraht.

Einige Niedervoltlampen mit glattem und schrauben förmig gewundenem Leuchtdraht sind in Abb. 17 zusam men gestellt.

## 6. Gasgefüllte Lampen.

Das Jahr 1909 brachte einen weiteren Fortschritt, indem man Stoffe in die Birnen einführte, welche sich während des Brennens der Lampe langsam zersetzen unter dauernder Ent wicklung sehr geringer Mengen von Halogengasen (vgl. S. 179). Diese gehen mit den zerstäubten Wolframteilchen durch sichtige Verbindungen ein und schwärzen die Lampen nicht. Derartige Lampen verbrauchen nur etwa 0,8 Watt für die Kerze. Allerdings kann dieser niedrige Effektverbrauch nur für Lampen von großer Lichtstärke (etwa von 200 Kerzen an aufwärts) in Frage kommen, da die dünneren Leuchtdrähte zu stark angegriffen wurden.

Andere Untersuchungen hatten bereits seit langem er geben, daß die Zerstäubung des Leuchtkörpers herab gemindert wird, wenn er nicht im Vakuum, sondern in einem gespannten inerten Gase glüht. Allerdings entstehen nun mehr bedeutende Energieverluste dadurch, daß die dichten Gase die Wärme des Leuchtfadens nach außen ableiten.

Trotzdem ist es gelungen, auch mit gasgefüllten Lampen einen hervorragenden technischen Erfolg zu erzielen. Grund legend waren die Ergebnisse der Versuche der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft zu Berlin und der General Electric Company in Amerika. Es hat sich zunächst heraus gestellt, daß der Wirkungsgrad einer Lampe mit Gasfüllung ganz wesentlich abhängig ist von der Gestalt des Leucht

körpers, was bei Vakuumlampen nicht der Fall ist. Tabelle 7 gibt einen diesbezüglichen Versuch von Langmuir wieder, welcher sich auf Wolframlampen mit Stickstofffüllung bezieht.

T a b e l l e 7.

Absolute Faden- temperatur	im Vakuum	Durchmesser mm						
		0,025	0,050	0,125	0,25	0,5	1,25	2,5
Spezifischer Wattverbrauch								
2400°		1,00	4,80	3,13	2,02	1,59	1,35	1,18
								1,11

Aus der Tabelle ist zu ersehen, daß der spezifische Wattverbrauch mit wachsendem Fadendurchmesser bedeutend abnimmt. Die Wärmeableitung ist demnach unter Voraussetzung gleicher Fadentemperatur und gleicher strahlender Oberfläche bei einem langen, dünnen Leuchtkörper größer als bei einem dicken kurzen. Will man also eine wirtschaftliche Glühlampe mit Gasfüllung herstellen, so muß man Leuchtfäden von außergewöhnlich großem Durchmesser verwenden. Diese scheinbar undurchführbare Forderung ist durch einen Kunstkniff erfüllt

worden. Man wickelte den dünnen Leuchtdraht zu einer eng gewundenen Spirale auf und erhielt so die Wicklung eines kurzen und stärkeren Fadens. Die nach außen wirksame Oberfläche der Spirale ist um ein beträchtliches verkleinert, und die im Innern der Spirale in

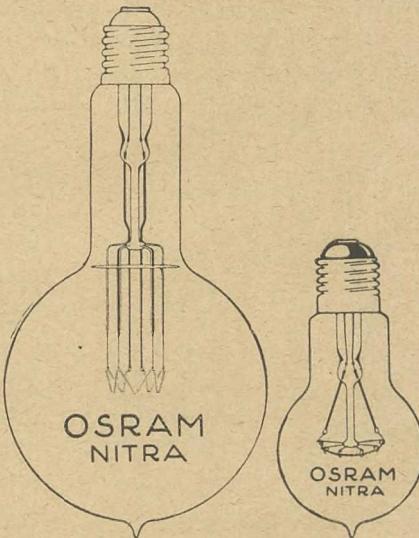


Abb. 18.

Ruhe befindliche Gasatmosphäre leitet keine Wärme nach außen ab.

Theoretisch ist es daher vorteilhaft, den Durchmesser der Spirale möglichst groß zu machen und möglichst eng zuwickeln. Praktisch kann aber der Durchmesser der Windungen das Zweie- bis Dreifache des Drahtdurchmessers kaum überschreiten, da die im glühenden Zustande weichen Drähte sich sonst aus-einanderziehen. Die Gang-höhe der Spiralen darf nicht zu klein werden, damit zwischen den einzelnen Windungen nicht Kurzschluß entsteht.

Als Füllgase werden Stickstoff oder Mischungen von Stickstoff und Argon oder Helium und Argon (Hela-Lampe der Julius Pintsch A.-G.) verwendet.

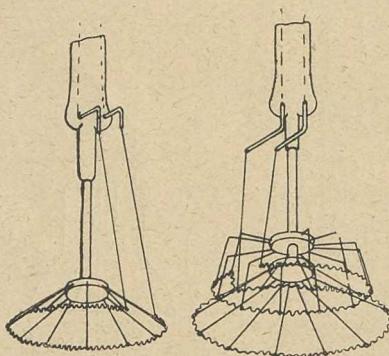


Abb. 19.

Um einen Überblick über die praktische Ausgestaltung auch dieser Lampengattung zu geben, sind in Abb. 18 zwei Lampen für gebräuchliche Netzspannungen und in Abb. 19 einige Niedervoltlampen abgebildet. Das viel verwendete, in Abb. 20 gezeichnete Traggestell ist der Firma Siemens & Halske geschützt<sup>1)</sup>. Ein langer Hals schützt die Einschmelzstelle der Drähte vor der Einwirkung der aufsteigenden heißen Gase. Hier setzen sich auch die von dem Leuchtkörper verstäubten Wolframteilchen ab, so daß die eigentliche Glocke von Beschlägen verhältnismäßig frei bleibt.

Die wichtigsten Daten der Osram-, Wotan- und A. E. G.-Nitralampen sind in Tabelle 8a und Tabelle 8b zusammen-

<sup>1)</sup> D. R. P. 286 809 vom 21. September 1913.

T a b e l l e 8a.

Spannung Volt	Watt- verbrauch Watt	Lichtstärke		Abmessungen	
		mittlere räumliche HK	größte HK	Durch- messer mm	Länge mm
100—130	25	18	23	60	120
100—130		37	45		
131—165	40	33	40	60	120
200—240		29	36		
100—130		62	78		
131—165	60	57	72	75	150
200—240		45	57		
100—130		82	100		
131—165	75	77	96	80	150
200—260		68	86		
100—130		120	145		
131—165	100	110	135	90	180
200—260		100	125		
100—130		200	240		
131—165	150	190	225	100	190
200—260		170	200		
100—130		275	325		
131—165	200	265	310	100	190
200—260		250	295		
100—130		450	530		
131—165	300	430	510	120	230
200—260		400	470		
100—130		800	940		
131—165	500	775	900	150	300
200—260		750	875		
100—130		1200	1410		
131—165	750	1190	1400	150	300
200—260		1150	1350		
100—130		1650	1940		
131—165	1000	1620	1900	170	320
200—260		1550	1820		
100—130		2600	3060		
131—165	1500	2500	2940	200	360
200—260		2400	2820		
100—130		3600	4200		
131—165	2000	3500	4100	240	400
200—260		3400	4000		

T a b e l l e 8b.

Spannung Volt	Watt- verbrauch Watt	Lichtstärke ea. HK	Abmessungen	
			Durchmesser mm	Länge mm
4	5	5	33	68
	10	12		
	15	18	40	75
	5	5	33	68
	10	14		
	15	21		
	20	31	40	75
	25	38		
	35	58	50	85
	50	83	60	95
6	5	5	33	68
	10	12		
	15	21		
	20	33	40	75
	25	42		
	35	58		
	50	91	60	95
	15	20		
	20	33	40	75
	25	45		
8	35	67	50	85
	50	96	60	95
	20	29	40	75
	25	42		
	35	67		
	50	96	60	95
	20	29		
	25	42		
	35	67		
	50	96	60	95
12	25	45		
	35	67		
	50	96	60	95
	20	29	40	75
14	25	42		
	35	67		
	50	96	60	95
	25	42		
16	35	67	50	85
	50	96	60	95

gestellt, aus welcher auch der günstige spezifische Wattverbrauch der gasgefüllten Lampen hervorgeht.

Worauf die günstige Wirkung der Gasfüllung beruht, ist noch durchaus nicht geklärt. Daß durch den höheren

Druck der Gasfüllung (1 Atm.) die Verdampfung des Wolframs herabgemindert werden kann, ist nicht denkbar, da der Dampfdruck des Wolframs nach Langmuir bei der normalen Glühtemperatur von  $2000^{\circ}$  C nur  $1,4 \cdot 10^{-11}$  mm beträgt. Für so geringe Partialdrucke hat das Dalton'sche Gesetz Gültigkeit, welches besagt, daß der einem Dampf zukommende Partialdruck nach Eintritt des Gleichgewichtszustandes unabhängig ist von dem Vorhandensein anderer Gase oder Dämpfe. Nach A. Goetz<sup>1)</sup> könnte man sich die Wirksamkeit der Füllgase so vorstellen, daß infolge des höheren Druckes der umgebenden Gasatmosphäre die freie Weglänge der aus dem glühenden Draht austretenden Elektronen verkürzt wird, so daß die Ionisierungswirkung derselben im wesentlichen verschwindet. Andererseits kann die Gasfüllung die zerstörende Wirkung der im Innern des Drahtes eingeschlossenen Gase dadurch hintanhalten, daß sie von der Oberfläche des Drahtes absorbiert werden. Zwischen okkludierten und absorbierten Gasmengen stellt sich dann ein Gleichgewichtszustand ein, dessen Fehlen möglicherweise die Grundbedingung für den Eintritt einer Zerstäubung darstellt.

---

<sup>1</sup> A. Goetz l. c.

---

## Zweiter Teil.

# Herstellung der elektrischen Glühlampen.

## A. Die Herstellung der Fäden und Drähte.

### 1. Die Reindarstellung des Wolframs.

Das Wolfram findet sich in der Natur weit verbreitet in den Mineralien Wolframit [ $WO_4$  (Mn Fe)] und Scheelit ( $WO_4$  Ca), ferner im Scheelbleispat ( $WO_4$  Pb); im Hübnerit, einem Manganwolframat; im Wolframocker, einem Wolframsäurehydrat u. a. Für die Gewinnung des Wolframs zur Verwendung in der Glühlampenfabrikation kommen wohl nur die beiden erstgenannten Mineralien in Frage, und von diesen wieder in allererster Linie der Scheelit. Die Wolframmineralien finden sich vornehmlich auf Zinnerzgängen. Vermöge seines hohen spezifischen Gewichtes und seiner großen Beständigkeit hat sich besonders der Wolframit auch in den aus den Zinnerzlagern hervorgegangenen eluvialen Seifen angereichert. Die Hauptproduzenten sind Kolorado, Queensland, England, Argentinien, Portugal und Spanien. In Deutschland bzw. Österreich sind die Zinnerzgänge des Erzgebirges bei Schlaggenwald, Zinnwald und Sadisdorf zu nennen; auch in Sachsen werden Wolframerze gefördert. Der Wolframit ist ein metallisch glänzendes Mineral von dunkelbrauner bis schwarzer Farbe, während der Scheelit gelblichweiß oder schwach braun gefärbt ist.

Aus den Erzen wird Wolframtrioxyd gewonnen und dieses dann zu metallischem Wolfram reduziert. Die

Erze werden zuerst von den groben Verunreinigungen befreit und pulverisiert. Die weitere Verarbeitung ist je nach der Art des Ausgangsmaterials verschieden. Beim Wolfram mit handelt es sich darum, das Eisen und Mangan zu entfernen. Zu diesem Zwecke werden die Erze einem oxydierenden Rösten unterworfen unter Zusatz von Ätzalkalien oder Alkalikarbonaten. Eisen und Mangan werden dabei in ihre Oxyde übergeführt, während sich das Wolfram in Natrium- bzw. Kaliumwolframat umwandelt. Da die Alkaliwolframate in Wasser löslich, die Mangan- und Eisenoxyde unlöslich sind, so erfolgt die Trennung durch Auslaugen mit Wasser. Durch Versetzung der Lösung mit konzentrierter Salzsäure wird Wolframtrioxyd ausgefällt. Dieses ist in Ammoniak löslich und lässt sich durch mehrmaliges Lösen und Fällen oder durch Umkristallisieren reinigen.

Nach Hempel (D. R. P. Nr. 221 062, 1909) wird der Aufschluß im Autoklaven unter Druck- und Temperaturerhöhung vorgenommen. Als Zuschläge werden Ätzkali und Ätzkalk verwendet, welch letzterer mit vielen Fremdbestandteilen des Erzes, wie Mangan, Kieselsäure, Zinn unlösliche Doppelverbindungen eingeht.

Nach anderen Verfahren werden die Wolframerze mit Natriumbisulfat aufgeschlossen und die als Sulfate vorhandenen Fremdkörper durch Zugabe von Kohle in die Oxyde verwandelt. Nach dem Auslaugen mit Wasser findet sich in der Lösung neben dem wolframsauren Natrium noch Natriumsulfat und Eisensulfat. Das erstere kristallisiert beim Eindampfen der Lösung aus und wird durch Filtration entfernt, während das letztere bei der Fällung des Wolframtrioxyds mit Salzsäure in Lösung bleibt. Statt der Kohle werden auch Zuschläge von Kalk oder Kalksalzen (Kalziumchlorid, Kalziumkarbonat) und Chloralkalien verwendet.

Die Verarbeitung des Scheelits ist sehr viel einfacher. Das pulverisierte Material wird entweder mit Natriumkarbonat geschmolzen oder längere Zeit mit heißer konzentrierter Salzsäure behandelt. Im ersten Falle entsteht das

wasserunlösliche Kalziumkarbonat neben dem löslichen Natriumwolframat, im letzteren Falle das lösliche Chlorkalzium und das unlösliche Wolframtrioxyd.

Damit später möglichst widerstandsfähige Drähte hergestellt werden können, muß das Wolframtrioxyd ganz besonders rein sein. Das nach einem der oben angegebenen Verfahren dargestellte Trioxyd kann bei  $1000^{\circ}$  durch feuchten Wasserstoff zu braunem Wolframdioxyd ( $WO_2$ ) reduziert und dieses im Chlorstrom als gelbes Oxydichlorid ( $WO_2 Cl_2$ ) destilliert werden. Diese Verbindung wird dann durch Eintragen in ca. 20%ige Salzsäure in das Trioxyd übergeführt<sup>1)</sup>.

Das Wolframtrioxyd, auch schlechthin als Wolframsäure bezeichnet, ist ein gelbes glühbeständiges Pulver. In Wasser und Säuren ist es unlöslich, wird aber von Ammoniak oder Alkalilaugen unter Bildung von löslichen Wolframaten aufgenommen.

Die Darstellung des reinen Metalls aus dem Wolframtrioxyd kann nach verschiedenen Verfahren erfolgen, von denen heute aber wohl ausschließlich die Reduktion im Wasserstoffstrom ausgeübt wird. Hierzu bedient man sich mit Vorteil des elektrischen Platinbandofens von W. C. Heraeus (Abb. 21). Der Heizkörper desselben besteht aus einem Rohr, welches mit einem dünnen Platinband schraubenförmig bewickelt ist. Das Rohr ist aus feuerfester Marquardtscher Masse der Staatlichen Porzellanmanufaktur in Berlin hergestellt. Statt des teuren Platin kann man auch eine Nickelstahl- oder Chromnickelstahlwicklung benutzen, doch dürfen die Öfen dann nur bis höchstens  $1100^{\circ}$  C erhitzt werden. Weitaus höhere Temperaturen vertragen die neuen Öfen der Firma H. Seibert, Berlin, deren Heizkörper aus Karborundumstäben bestehen. — In die Heizkörper der Röhrenöfen werden Glührohre aus Eisen (gezogenem Mannesmannrohr), Quarz oder Porzellan lose eingeführt. Durch die mit dem Wolframtrioxyd beschickten Röhren wird

<sup>1)</sup> Vergl. O. Ruff, Über die Darstellung streckbaren Wolframs. Z. f. angew. Ch. XXV. Jahrg. S. 1891.

Wasserstoff geleitet, auf dessen Reinheit man besonders bedacht sein muß, wenn man vollkommen reines Wolfram herstellen will. Man verwendet deshalb im allgemeinen elektrolytischen Wasserstoff. Durch Überleiten über Platinmoor oder Palladium wird etwaiger Sauerstoff restlos entfernt und das gebildete Wasser in Adsorptionsvorrichtungen aufgefangen.

Durch die Wahl der besonderen Reaktionsbedingungen hat man es in der Hand, das Wolframpulver in zweckentsprechender

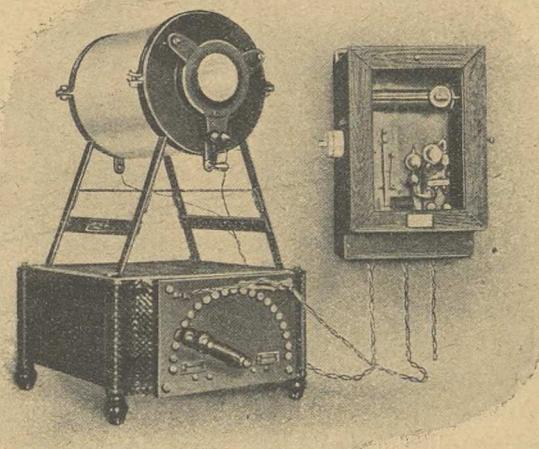


Abb. 21.

Form darzustellen. Während man für die Weiterverarbeitung des Wolframs zu Drähten nach dem Spritzverfahren auf die Darstellung eines möglichst feinpulverigen Metalls großen Wert legt, bevorzugt man für die mechanische Verarbeitung des Wolframs ein gröberes Ausgangsmaterial. Im ersten Falle geht man von möglichst feinpulveriger Wolframsäure aus. Man füllt sie in Nickel- oder Kupferschiffchen und schiebt diese fortlaufend an dem einen Ende in das Glührohr ein. Dabei wird der Nachschub so geregelt, daß am anderen Ende des Glührohres stets Schiffchen mit fertig reduziertem Wolframpulver fortgenommen werden können,

Der Wasserstoff strömt entgegen der Bewegungsrichtung der Schiffchen. Das Glührohr ragt an beiden Enden des Ofens heraus, damit die Wolframsäure allmählich auf die Höchsttemperatur von 1000 bis 1100° C gebracht werden kann und bis zur Herausnahme aus dem Rohr genügend abkühlt.

Ein Verfahren zur Darstellung eines besonders feinen Wolframpulvers ist Dr. Ing. Schwarzkopf patentiert worden (D. R. P. 276 659, 1911). Das Verfahren gründet sich darauf, daß das Wolfram um so feinkörniger wird, je niedriger die Reduktionstemperatur war und je sorgsamer während des ganzen Reduktionsvorganges das Auftreten von Zwischenoxyden als beständige Gebilde vermieden wurde. Um letzteres zu erreichen, wird die Geschwindigkeit des reduzierenden Gases so hoch gewählt, daß die Sauerstoftension im Gasraum stets kleiner ist als die Tension des niedrigsten Oxydes. Bei einem Durchmesser von 20 mm der das Reduktionsgut enthaltenden Röhren und bei einer Beschickung von 1,2 g pro cm und einer Höchsttemperatur von 750° wird beispielsweise mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 m/sec. gearbeitet. Dabei ist es von großer Wichtigkeit, daß die Strömungsgeschwindigkeit stets konstant gehalten und durch das Ein- und Ausladen der Schiffchen nicht beeinträchtigt wird<sup>1)</sup>.

Zur Herstellung grobkörnigen Wolframpulvers kann man nach dem Wolframduktilisierungspatent der A. E. G. (D. R. P. 269 498) so verfahren, daß man das Wolframoxyd bei etwa 1000° C oder selbst bis in die Nähe seines Schmelzpunkts etwa 5 Stunden lang in einem zugedeckten Hessischen Schmelziegel erhitzt. Dabei wird es größer im Gefüge und gibt im Wasserstoffstrom reduziert ein grobes Wolframpulver.

Eine andere Verwandlungsmethode ist die folgende: Man benützt ein Rohr aus geschmolzenem Quarz von 4 cm Innendurchmesser und 1,4 m Länge, welches mit Wolframtrioxyd vollgefüllt wird. Dann wird ein trockener Wasser-

<sup>1)</sup> Ein geeigneter elektrischer Ofen mit Vorheizung für den Wasserstoff ist im D. R. P. Nr. 363 133 vom 9. Juli 1920 beschrieben.

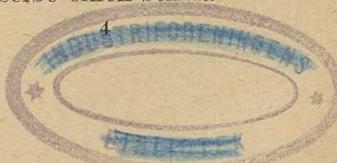
stoffstrom 5 bis 15 Stunden oder noch länger durch das auf etwa 1100 bis 1300° C erhitzte Rohr geleitet. Um den Durchgang des Wasserstoffes durch das Rohr zu sichern, kann man einen dünnen Stab in die Füllung einlegen. zieht man ihn zurück, so bleibt ein freier Durchgangskanal. Man legt ihn zweckmäßig in den oberen Teil der Füllung an der Innenwand des Rohres.

Bei der Reduktion des Wolframtrioxydes durch den Wasserstoff bildet sich Wasserdampf. Da dieser nicht unmittelbar entweichen kann, so diffundiert er mehr oder weniger durch die Oxydmasse hindurch und stört den Ablauf der Reduktion durch Bildung von Zwischenoxyden. Man beobachtet so eine fortschreitende Umwandlung des gelben Wolframoxyds in das braune und schwarze und schließlich zu dem reinen Metall selbst. Während dieser fortschreitenden Umwandlung findet man, daß die Oxydkristalle, besonders in braunem Zustande, größer werden. Den aus dem Rohr austretenden Wasserstoff kann man mittels einer Zirkulationspumpe von neuem in das Rohr einleiten, wobei man lediglich den verbrauchten Wasserstoff zu ersetzen hat. In den Kreislauf wird eine wirksame Trockenvorrichtung eingeschaltet, um den gebildeten Wasserdampf zu beseitigen.

Das fein verteilte Wolfram stellt ein tiefschwarzes, sehr pyrophorisches Pulver dar, während das nach dem zuletzt genannten Verfahren bei höherer Temperatur reduzierte Wolfram schwerer ist und eine graue, dem Eisenpulver ähnliche Farbe aufweist.

## 2. Ältere Verfahren zur Herstellung von Wolframfäden.

Eines der ältesten Verfahren, nach welchem Glühfäden aus Wolfram hergestellt wurden, ist das Substitutionsverfahren von Just und Hanaman (D. R. P. Nr. 154 262, 1903 u. a.). Man verdampft in einem geeigneten Gefäß Wolframoxychloride und leitet durch dasselbe einen schw-



chen Strom von Wasserstoff. Bringt man nun einen in dem Gefäß ausgespannten Kohlenfaden auf elektrischem Wege zur hellen Rotglut, so spielt sich ein interessanter Vorgang ab: Der Kohlenstoff des Kohlenfadens verbindet sich mit dem Sauerstoff und der Wasserstoff mit dem Chlor der Wolframoxychloriddämpfe, so daß freies Wolfram zur Abscheidung gelangt und sich auf dem Kohlenfaden absetzt. Aus dem Innern des Fadens dringt nach und nach Kohlenstoff unter Bildung einer Wolfram-Kohlenstofflegierung an die Oberfläche und wird zur Reduktion der Oxychloride verbraucht. Auf diese Weise wird der ganze Kohlenfaden in einen homogenen Wolframfaden umgewandelt. Nach beendeter Substitution wird der Wasserstoffstrom verstärkt. Dieser bewirkt dann allein die Reduktion der Wolframoxychloriddämpfe zu Wolfram, so daß der Vorgang nunmehr im Sinne des früher beschriebenen Präparierverfahrens wirkt. Sollte der Kohlenstoff noch nicht vollständig vertrieben sein, so kann man die Fäden in einer Nachbehandlung unter Gegenwart von fein gepulverten, niederen Wolframoxyden in Tiegeln auf etwa  $1600^{\circ}$  erhitzen, wobei der Sauerstoff der Oxyde die letzten Reste Kohlenstoff an sich reißt (D. R. P. 184 379, 1905). Auch röhrenförmige Wolframfäden sind nach diesem Verfahren hergestellt worden.

Bei der praktischen Durchführung ergaben sich mancherlei Schwierigkeiten, so daß das Verfahren neu aufkommenden Methoden nicht standhalten konnte.

Bevor die mechanischen Bearbeitungsmethoden des Wolframs aufkamen, haben die *Wolframspritzverfahren* eine hervorragende Bedeutung gehabt. Auch heute wird dieses von allen den Fabriken angewandt, welche zur Ausübung der neuesten *Wolframduktilisierungsverfahren* nicht berechtigt sind. Die Fabrikation erfolgt nach folgendem Prinzip: Aus möglichst feinem Wolfram-pulver und einem Klebestoff wird eine plastische Masse hergestellt und aus dieser mit Hilfe einer Presse Fäden gepreßt.

Die Fäden werden dann durch einen Formierprozeß o. dgl. in reines Wolfram übergeführt.

An Bindemitteln sind eine sehr große Anzahl empfohlen worden. In erster Linie kamen organische Bindemittel aller Art in Betracht, wie Kasein, Gummiarabikum, Celloidin, eine wässrige Lösung von Tragant und Karamel und viele andere. Beispielsweise wird eine Lösung von Celloidin in Amylacetat mit Rizinusöl versetzt, und zwar mit der halben Gewichtsmenge der in der Lösung enthaltenen trockenen Nitrozellulose. Die Masse wird auf dem Wasserbade gut verrührt und eingedampft, dann durch Müllergaze unter Vakuum filtriert. 50 g des Kittes werden mit 190 g Metallpulver zu einer Paste vermischt.

Zur Erzielung einer guten homogenen Paste ist eine gewisse Erfahrung erforderlich. Das Mischen geschieht meistens auf einem Kalander. Dieser besteht aus zwei in einem Gestell übereinander gelagerten drehbaren Walzen, von denen sich die obere schneller dreht als die untere. Während des Mischens verdampft die Feuchtigkeit der Paste mehr und mehr, und diese sammelt sich bald auf der oberen Walze an. Damit die Paste gut durchgearbeitet wird, nimmt man mit Hilfe besonderer Geräte dann und wann einen Teil derselben von der Walze ab und gibt ihn von neuem in den Kalander zurück. Das Kalandern wird so lange fortgesetzt, bis die Masse ziemlich hart und glänzend geworden ist.

Mittels einer hydraulischen oder einer Handpresse werden aus der Paste Fäden gepreßt. In Abb. 22 ist eine Handpresse der Firma Gebr. Köppe, Berlin, dargestellt. Die Paste befindet sich in einem Preßzylinder; ein durch das Handrad bewegter Stempel preßt sie mit großer Kraft durch eine Diamantdüse von kreisförmigem Querschnitt (Abb. 23 oben). Der kleine Wagen unterhalb des Preßzylinders wird mit Pappchen belegt. Auf diesen wird der Faden in Schleifenform aufgefangen, welcher dadurch zustande kommt, daß man die Wagenplatte sowohl auf den Schienen als auch senkrecht zu dieser Richtung von Hand verschiebt. Ein der Firma Jo-

hannes Prigge in München geschützter Preßkolben ist in Abb. 24 im Schnitt dargestellt<sup>1)</sup>. *S* ist der Stempel und *C* ein konischer Einsatz aus glashartem Stahl zur Aufnahme der Preßpaste. Der Preßstein befindet sich in der Düse *D*, welche ebenso wie der untere Teil des Einsatzes *C* halb-

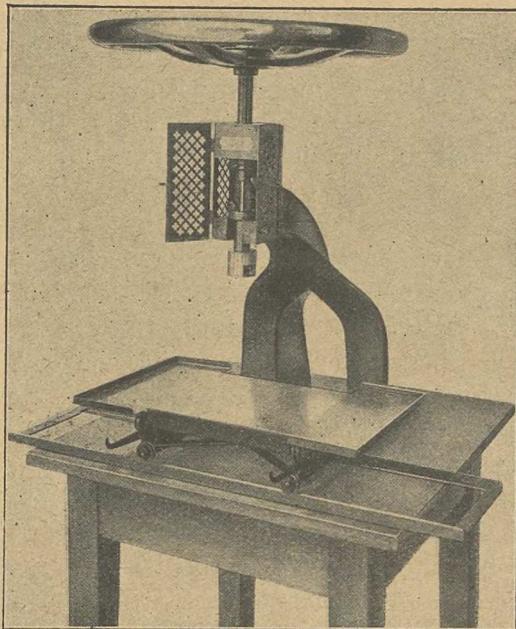


Abb. 22.

kugelförmig ausgestaltet ist, um Zylinderboden und Fassung möglichst vollkommen abzudichten.

Die im Zickzack gelegten Fäden werden nach kurzem Trocknen zerschnitten und die einzelnen Fadenbügel zu Bündeln zusammengelegt. Diese Bündel werden in Brennschiffchen aus Nickel, Kupfer oder Eisen gelegt und bei durchstreichendem Wasserstoff- oder Ammoniakgas oder einem Gemisch aus beiden in dem beschriebenen elektrischen Ofen

<sup>1)</sup> D. R. P. 212 615, 1908.

einem Karbonisierprozeß unterzogen. Die Fäden werden ganz allmählich auf etwa  $900^{\circ}\text{C}$  erhitzt, so daß die organischen Bindemittel verkohlen und der Kohlenstoff größtentheils entfernt wird. Hierbei werden die Rohfäden, welche infolge der isolierenden Wirkung der Bindemittel den elektrischen Strom nicht leiten, zu Leitern, und die Festigkeit wird so groß, daß die Fäden eine weitere Handhabung vertragen. Zur Oxydation des bei der Beschickung miteingebrachten Luftsauerstoffes können die Metallschiffchen mit reduzierenden Substanzen ausgestrichen werden. Dazu eignet sich mit Amylacetat angerührtes Wolfram oder Zirkoniuummetallpulver, auch eine Mischung aus beiden, ev. unter Zusatz von rotem Phosphor.

Hierauf werden die Fäden einem Formierprozeß unterworfen, in welchem die Umwandlung der kohlenstoffhaltigen Fäden in reine Wolframfäden vor sich geht. Eine gebräuchliche Formierapparatur zeigt Abb. 25 (Fabrikat der Firma Gebr. Köpp, Berlin). Unter den abhebbaren Glasglocken befinden sich die vier Fadenträger, welche mit je sechs Klemmvorrichtungen zum Einsetzen der Fäden ausgestattet sind. Zur Erzielung eines kontinuierlichen Betriebes werden immer zwei Fadenträger mit den zu formierenden Fäden versehen, während gleichzeitig in den beiden anderen Rezipienten der Formierprozeß vor sich geht. Die Rezipienten werden entlüftet und mit einem Formiergas gefüllt. Dann wird mit Hilfe eines Wahlschalters der erste Faden unter Strom gesetzt, zunächst auf hohe Rotglut gebracht und nach und nach bis zu hellster Weißglut erhitzt.

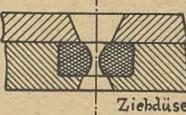
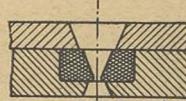


Abb. 23.

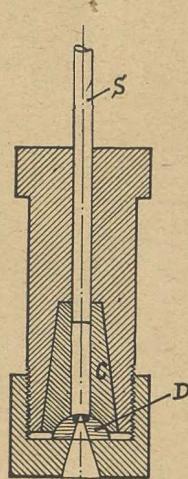
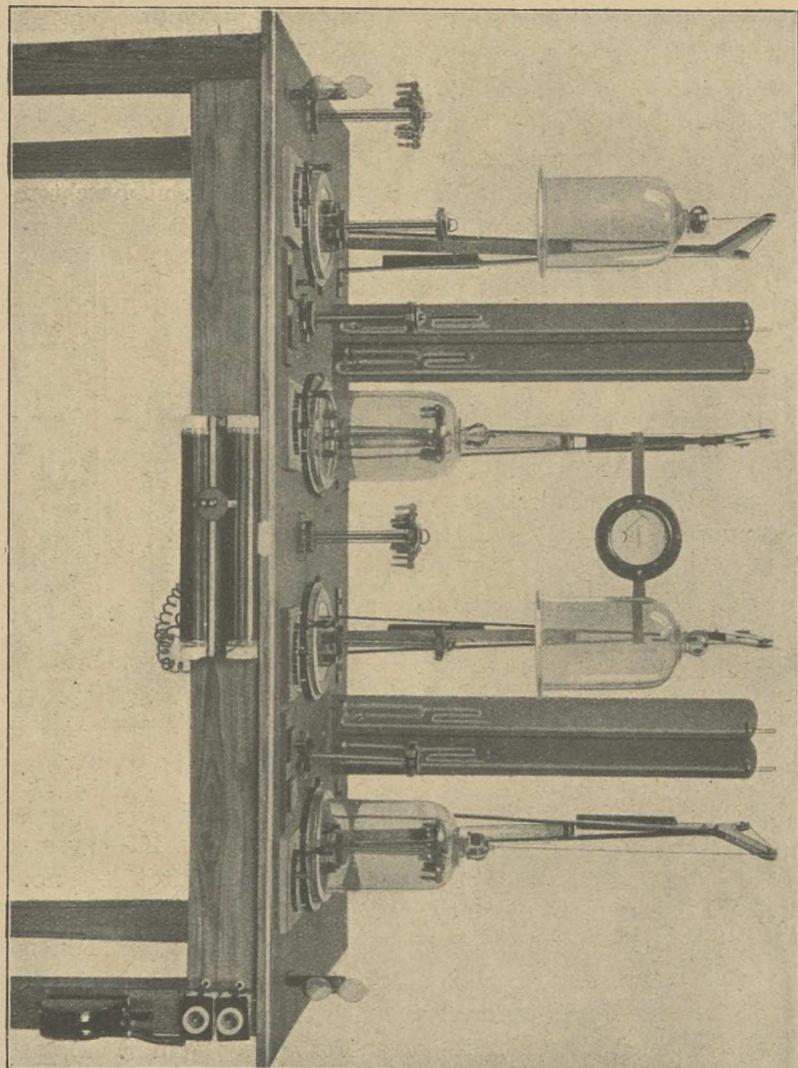


Abb. 24.

Abb. 25.



Dem Formiergas liegen zweierlei Funktionen ob, nämlich erstens, den Kohlenstoff der Fäden in flüchtige Verbindungen überzuführen und zweitens, den im Faden verbliebenen Sauerstoff der metalloxydischen Verunreinigungen zu binden. Sehr gut eignet sich zum Formieren Wasserstoff, dem nach dem D. R. P. Nr. 182 683 der Auergesellschaft geringe Mengen Wasserdampf zugesetzt werden. Es genügt schon die geringe Menge Wasserdampf, welche der Wasserstoff von der Fabrikation her mitbringt. Der Sauerstoff des Wasserdampfes führt den Kohlenstoff in Kohlenoxyd- und Kohlendioxydgas über, während der reduzierend wirkende Wasserstoff die Oxydation des Wolframs verhindert. Das Formiergas kann stark mit Stickstoff verdünnt werden; es verbindet sich dieser bei hoher Weißglut (1900 bis 2000° C) unter Bildung von Dicyan ( $CN_2$ ) mit dem Kohlenstoff und entkohlt die Fäden ebenfalls (D. R. P. 194 653 der Auergesellschaft).

Zahlreiche andere Verfahren, von denen hier nur einige wenige angeführt seien, suchen die Wasserdampfformierung zu umgehen. Nach einem Verfahren der *Wolframlampe n-Akt.-Ges.* werden dem Wasserstoff geringe Mengen Schwefelwasserstoff zugegeben, welcher bei der hohen Temperatur in Wasserstoff und Schwefel zerfällt. Dieser letztere bindet dann den Kohlenstoff zu flüchtigem Schwefelkohlenstoff. Ferner ist Ammoniakgas mit einem geringen Gehalt an Sauerstoff oder Luft als Formiergas vorgeschlagen worden.

Nach anderen Patenten werden die wirksamen Bestandteile in Form von leicht zu verflüchtigenden Verbindungen bereits der Preßpasta einverleibt, wie die Oxyde oder Sulfide von Zink oder Cadmium (D. R. P. 193 920 und 194 894) oder geeignete Nitrite, wie beispielsweise das Phospham ( $PN_2H$ ), welches beim Formieren in seine Bestandteile zerfällt, wobei der Stickstoff die Kohle und der Phosphor und Wasserstoff den Sauerstoff binden. Von Interesse ist auch ein Verfahren von Dr. Majert (D. R. P. 223 102), nach welchem dem Wolframpulver als Bindemittel Wolframsäureglyzerinester zugesetzt wird. Aus den ge-

preßten Rohfäden resultieren bereits beim Erhitzen im Glühofen auf helle Rotglut reine Wolframfäden, ohne daß es zur Abscheidung von Kohlenstoff kommt.

Um die Fäden fest und haltbar zu machen, wird die Stromstärke beim Formieren nach und nach so weit erhöht, daß sie die Betriebsstromstärke der fertigen Lampe um ein vielfaches übersteigt. Dabei sintert der Faden beträchtlich zusammen. Das Sintern muß so weit getrieben werden, daß das Nachsintern der Fäden in den fertigen Lampen, welches nie ganz zu vermeiden ist, einen gewissen Grad nicht überschreitet. Um schön gerade gestreckte Fäden zu erhalten, werden dieselben beim Formieren durch ein an der Biegungsstelle eingehängtes Gewicht beschwert. Der erste Faden wird vollständig fertig formiert und dann durch Weiterrücken des Wahlschalters der nächste eingeschaltet. Rheostat, Ampermeter und Manometer dienen zur Einregulierung von Stromstärke und Gasdruck. Erwähnt sei noch, daß das Formieren auch in strömendem Gase vorgenommen werden kann. Die Formiergase werden alsdann von einer Pumpe ständig abgesaugt.

Das Formieren ist eine recht schwierige Operation und erfordert große Sorgfalt, zumal es darauf ankommt, Fäden von gleichem spezifischen Widerstand zu erhalten, um dieselben auf dem Wege der Massenfabrikation zu Glühkörpern bestimmter Lampentypen vereinigen zu können. Der Ausschuß an Fäden sowie an halbfertigen und fertigen Lampen ist bei den obigen Herstellungsverfahren infolge der Sprödigkeit des Fadenmaterials immer ein außerordentlich großer.

Um sich von dem Entkohlen der Fäden frei zu machen, sind eine Reihe von Verfahren ausgearbeitet worden, bei welchen als Bindemittel nicht organische, sondern anorganische Substanzen in Anwendung kommen. Beispielsweise wird nach einer Methode der Wolframlampen-Akt.-Ges. in Augsburg (D. R. P. 185 585, 1905) Schwefel als Bindemittel benutzt. Dieser wird in feinst verteilem Zustand innig mit dem Wolframpulver vermengt, worauf das Ganze

mit etwas Schwefelkohlenstoff zu einer genügend plastischen Masse verarbeitet wird. Aus der Paste werden wie üblich Fäden gepreßt und diese durch hohes Erhitzen im Wasserstoffstrom in reine Wolframfäden umgewandelt.

Johannes Schilling benutzt als Bindemittel für ein besonders feines Metallpulver Schwefelammon (D. R. P. 223 498, 1906) oder Ammoniak (D. R. P. 236 554, 1909).

Wilhelm Heinrich in Charlottenburg schlägt eine Paste vor, welche als Bindemittel Schwefelphosphorverbindungen enthält. Diese werden in der Weise dargestellt, daß man trockene Schwefelblumen (50 g) mit trockenem rotem Phosphor (60 g) durch Erhitzen zur Reaktion bringt. Johann Lux (D. R. P. 200 938) benutzt als Klebestoff Metawolframsäure oder kolloidale Wolframsäure ( $H_2W_3O_{13}$ ), welche mit wenig Wasser versetzt zähe, gummiartige, klebrige Massen bilden. Die Fäden werden in reduzierender Gasatmosphäre formiert. Hans Kuzel stellte eine plastische Preßpaste aus Wolframmetallpulver und kolloidalem Wolfram her. Die Rohfäden enthielten dann nur Wolfram und Wasser und konnten infolgedessen durch einfaches Erhitzen in reine Wolframfäden übergeführt werden. Das Verfahren, welches seinerzeit von mehreren Firmen praktisch ausgenutzt wurde (Pintsch, Berlin; Kremenecky, Wien) bietet gegenüber den anderen Methoden infolge mancherlei Schwierigkeiten bei der praktischen Ausführung keinerlei Vorteile und wird heute nicht mehr angewandt.

In Amerika wurden eine zeitlang Wolframglühkörper unter Verwendung rein metallischer Bindemittel nach dem Amalgamverfahren von W. D. Coolidge (Brit. Pat. 16 534, 1907) hergestellt. Als Bindemittel wurde u. a. ein Amalgam aus Quecksilber, Cadmium und Wismut verwendet, welches bei 100 bis 120° C plastisch wird. Bei dieser Temperatur wird dem Amalgam das Wolfram Pulver zugesetzt. Das Pressen der Fäden geschah dann unter Erwärmung der Preßvorrichtung auf obige Temperatur. Durch Erhitzen der Fäden läßt sich das Bindemittel vollständig austreiben. In

den großen Fabriken ist die Einzelformierung mit Vorteil durch Massenformiermethoden ersetzt worden. Als besonders geeignet hat sich die Massenformierung der Fäden in hochtemperierten Öfen erwiesen. Die Fadenbündel werden in einem elektrisch heizbaren Rohr untergebracht, durch das Formiergase geleitet werden. Das Rohr besteht aus Kohle, Wolfram, oder am besten aus Iridium. Die Rohre aus Kohle werden mit schwer schmelzbaren Materialien ausgekleidet.

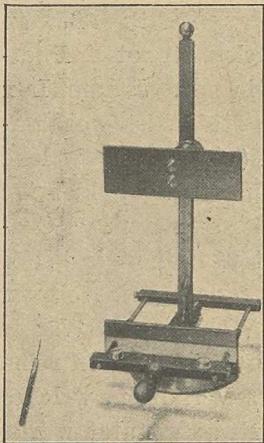


Abb. 26.

Die fertigen Fadenbündel werden dann auf Fadenschneidapparaten gleich lang zugeschnitten. In Abb. 26 ist ein solcher Apparat dargestellt (Fabrikat der Firma Gebr. Köppe, Berlin). Derselbe besitzt einen vertikal verstellbaren Schieber, auf welchem die Fadenbügel, bündelweise über Nadeln gelegt, befestigt werden. Das gleichmäßige Abschneiden geschieht mit einem am Fuße des Apparates angebrachten Messer. Die geforderte Schenkellänge kann mit Hilfe der vertikalen Skala durch Verstellen des Schiebers genau eingestellt werden.

Hierauf werden die Fäden nach gleichem Durchmesser sortiert, indem die gleichlangen Fäden auf einer Torsionswage zur Wägung gelangen, oder indem der elektrische Widerstand mit der Wheatstoneschen Brücke gemessen wird. Haben die Fäden gleiches spez. Gewicht, bzw. gleichen spez. Widerstand, was von der Gleichmäßigkeit der Fabrikation abhängt, so haben die Fäden mit gleichen Meßresultaten den gleichen Durchmesser.

Die Fertigstellung der Lampen unterscheidet sich von der im zweiten Teil beschriebenen Herstellung der Drahtlampen nur dadurch, daß die Fäden nicht fortlaufend über die Halter gewickelt werden können. Die Fadenbügel werden

vielmehr einzeln an die Elektroden und Stromverteilungsdrähte der unteren Linse befestigt, entweder durch Ankitten mittels eines aus Wolframpulver und einem organischen Bindemittel bestehenden Kittes oder besser noch durch Anschweißen mittels des elektrischen Lichtbogenschweißverfahrens. Die Anordnung der Fadenbügel ist aus Abb. 27 zu ersehen<sup>1)</sup>.

### 3. Die Herstellung duktiler Wolframdrähte nach dem Spritzverfahren.

Die bisher beschriebenen Verfahren führen ausnahmslos zu Wolframfäden, welche bei gewöhnlicher Temperatur vollkommen spröde sind. Für die wirtschaftliche Herstellung und die größere Haltbarkeit der fertigen Lampen beim Versand und während des Gebrauches bedeutete es einen ganz erheblichen Fortschritt in der Glühlampenfabrikation, als es gelang, duktile (d. h. bildsame) Wolframdrähte herzustellen, welche in beliebiger Länge und von gleichmäßiger Beschaffenheit gewonnen werden konnten.

Von größerer praktischer Bedeutung ist noch heute ein Verfahren, welches auf dem Wege des Spritzverfahrens zu duktilen Wolframdrähten führt. Setzt man der am besten unter Verwendung eines kolloidalen Bindemittels hergestellten Wolframpaste 2 bis 4% Thoriumdioxyd zu, so erhält man nach dem Pressen und Formieren Glühkörper, welche bei gewöhnlicher Temperatur vollkommen biegsam sind. Unbedingt erforderlich ist eine äußerst feine und gleichmäßige Verteilung des Thoriumdioxyds in dem Wolfram. Das wird am sichersten dadurch erreicht, daß man bereits das Wolframtrioxydpulver mit einer Lösung einer entsprechenden Menge Thoriumnitrat innig verröhrt, auf dem Wasserbade unter

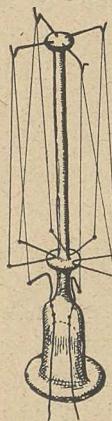


Abb. 27.

<sup>1)</sup> Eine sehr gute und ausführliche Darstellung der älteren Spritzverfahren haben wir in dem Werk C. Heinrich Webers „Die elektrischen Metallfadenglühlampen“, Leipzig 1914.

ständigem Umrühren zur Trockene dampfen läßt und die Masse pulverisiert. Hierauf erhitzt man dieselbe auf 300 bis 400° C, wobei das Thoriumnitrat in Thoriumoxyd übergeht. Erst dann erfolgt die Reduktion im Wasserstoffstrom. Das Thoriumoxyd wird dabei nicht mit reduziert, sondern ist auch in dem fertigen Faden noch als solches enthalten.

Zur Herstellung der Drähte sind nun ganz besonders Arbeitsmethoden geeignet, welche dieselben aus der Paste in einem einzigen Arbeitsgange in beliebiger Länge fortlaufend ergeben. Es sind mehrere Apparate zur ununterbrochenen Formierung der Fäden konstruiert worden, von denen hier nur eine durch das D. R. P. 236 711 vom Jahre 1910 geschützte Konstruktion der Westinghouse Metal Filament Lamp Co. Ltd. in London näher beschrieben sei. Abb. 28 bietet eine schematische Zeichnung dieses Apparates. In der Spritzvorrichtung 1 wird der Faden erzeugt und in dem von einem Brenner erhitzten trichterförmigen Trockenraum 2 getrocknet. In dem Raum 3, der sog. Kanne, wird der Faden spiralförmig aufgestapelt. Von hier gelangt er dann in den Formierapparat 4, welchem durch das Rohr 5 Formergase zugeführt werden. Durch die Heizspule 6 wird der Faden zunächst karbonisiert, also stromleitend gemacht, wenn organische Bindemittel verwendet wurden. Elektrische Kontakte setzen den hindurchgleitenden Faden unter Strom. Die einzelnen Kontakte sind gesondert über je einen Regulierwiderstand W mit der Stromquelle S leitend verbunden. Die an den isolierenden Stab 7 befestigten Kontakte bestehen aus einem kupfernen Arm, welcher mit einer Öffnung versehen ist. In dieser Öffnung befindet sich ein Quecksilbertropfen, welcher sich nur durch die Oberflächenspannung in der Öffnung festhält und dem hindurchgleitenden Draht einen zuverlässigen Kontakt gibt. Der durchfließende Strom wird nun so geregelt, daß die Temperatur des Drahtes allmählich ansteigt. Die letzten Kontakte werden durch eine Kühlslange gekühlt.

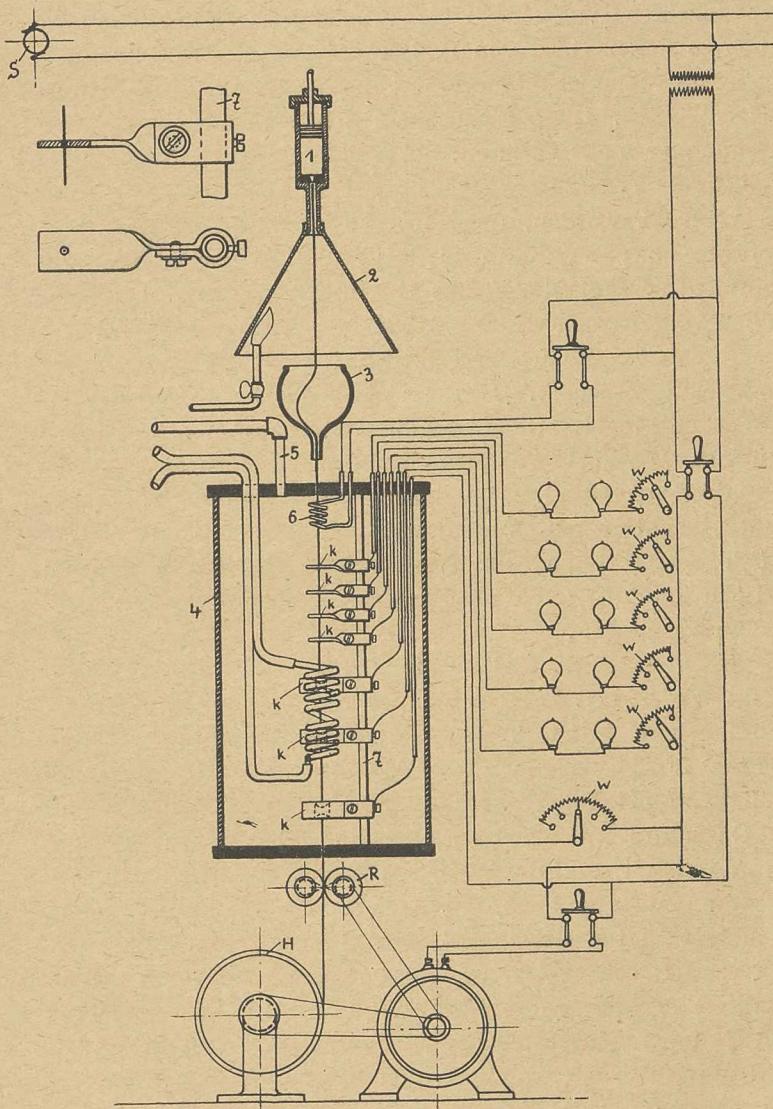


Abb. 28.

Das Thoriumdioxyd bewirkt ein inniges Aneinanderhaften der einzelnen Wolframteilchen, wodurch die fertigen Drähte einen so hohen Grad von Bildsamkeit erlangen, daß sie sich scharf über eine Nadel biegen und zu biegsamen Bändern auswalzen lassen. Diese Eigenschaft geht selbst nach längerer Brenndauer nicht verloren. Wie man sich den Einfluß des Thoriumdioxyds zu erklären hat, steht noch nicht fest. Es ist versucht worden, denselben so zu erklären, daß dem Thoriumdioxyd reduktionskatalytische Eigenschaften zu kommen, so daß infolge der Gegenwart dieses Körpers die Fäden vollkommen von Sauerstoff befreit sind und hierin der eigentliche Grund für die duktilen Eigenschaften derartiger Fäden zu suchen ist. In der Tat macht bereits ein außerordentlich geringer Gehalt an Sauerstoff die Wolframdrähte brüchig. Die Vorteile, welche biegsame Leuchtdrähte bieten, liegen auf der Hand. Die gesamte Fabrikation wird bedeutend erleichtert und vereinfacht und der bei Verwendung brüchiger Drähte so große Ausschuß an Halbfabrikaten und fertigen Lampen auch während des Versands und des Betriebes vermieden.

In dem Versuchslaboratorium der Firma Julius Pintsch A.-G. in Berlin ist nun festgestellt worden, daß die nach dem Thoriumdioxydspritzverfahren hergestellten Fäden nach ihrer Fertigstellung aus einzelnen größeren Kristallaggregaten aufgebaut sind. Kristalle sind im Gegensatz zu amorphen (gestaltlosen) Körpern dadurch charakterisiert, daß die kleinsten Bausteine, aus denen die Substanz aufgebaut ist, die Atome, regelmäßig im Raume nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten angeordnet sind. Der Materie ist von Natur aus ein gewisses Bestreben eigen, in diesen geordneten kristallisierten Zustand überzugehen, und je nach den gegebenen Bedingungen wird dieses Bestreben in mehr oder minder vollkommener Weise zur Durchführung gelangen. Dabei macht sich häufig die Neigung geltend, daß sich die größeren Kristalle auf Kosten der kleineren zu vergrößern trachten. Es wurde bereits erwähnt,

daß die Osmium- und Tantalglühfäden — und bei Wolfram-fäden zeigt sich diese Erscheinung ebenfalls — nach und nach aus dem feinkristallinen Zustand, in welchem sie sich ursprünglich befinden, unter der Wirkung der hohen Betriebs-temperatur in einen grobkristallinen Zustand übergehen.

Ein Zusatz von geringen Mengen Thoriumdioxyd zu der Preßpaste hat nun die Wirkung, daß die daraus gebildeten Fäden eine ganz besonders ausgeprägte, natürliche Neigung zeigen, in grobkristalline Strukturen überzugehen. Die einzelnen Kristalle sind alsdann sehr gut biegsam.

Die Firma Julius Pintsch hat sich diese Tatsache zunutze gemacht, um den Drähten einen noch innigeren Zusammenhalt zu geben. Es ist ihr gelungen, Wolframfäden aus einem einzigen, biegsamen Kristall von beliebiger Länge herzustellen<sup>1)</sup>. Das Wachsen der Kristalle erfolgt um so schneller, je höher die Temperatur ist, auf welche der Faden gebracht wird. Um denselben nun zu veranlassen, einen einzigen, ununterbrochenen Kristall zu bilden, führt man ihn durch eine Heizquelle hindurch, welche den Faden so stark erhitzt, daß an dieser Stelle ein Weiterwachsen eines dort vorhandenen Kristalls oder Kristallkeimes eintritt. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Draht an der Heizquelle vorbeigeführt wird, wird so geregelt, daß sie gleich oder geringer bleibt, als die Geschwindigkeit, mit welcher das Wachsen des Kristalls vor sich geht. In dem D. R. P. 293 235 vom 23. Dezember 1913 der Julius Pintsch Akt.-Ges. ist ein in Abb. 29 dargestellter Apparat beschrieben, in welchem die Kristallbildung erfolgen kann. Es hat sich herausgestellt, daß ein allmähliches Anwärmen der Drähte und nach erreichter Höchsttemperatur ein rasches Abkühlen für die Kristallbildung von Vorteil ist. Die Regelung der Temperatur in dem jeweils zur Bearbeitung gelangenden Drahtabschnitt erfolgt nach dem nämlichen Prinzip wie im Westinghouse Automaten, indem der Drahtabschnitt durch Vermitt-

<sup>1)</sup> D. R. P. 291 994 vom 21. Dez. 1913.

lung von Quecksilberkontakteen unter Strom gesetzt wird.  $P_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$  der Abbildung sind Metallplatten, welche in der Mitte mit feinen Durchbohrungen versehen sind, welche mit Quecksilber I, II, III abgedeckt sind. Um die Verdampfung des Quecksilbers während der Verwendung der Vorrichtung herabzumindern, werden Kühlvorrichtungen an-

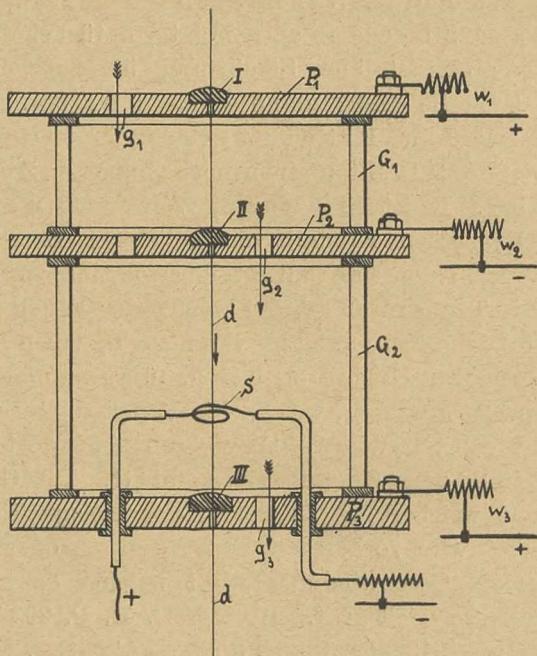


Abb. 29.

geordnet. (In der Abb. fortgelassen.) Die Metallplatten sind durch die Glaszyliner  $G_1$  und  $G_2$  miteinander isoliert verbunden.

Durch die Bohrung  $g_1$  kann ein inertes oder reduzierendes Gas in die erste Kammer eingeleitet werden, welches durch die Bohrung  $g_2$  in die untere Kammer geführt wird und bei  $g_3$  ausströmt.

Die Metallplatten stehen durch Klemmen mit Stromleitungen in Verbindung, wie in der Abbildung schematisch

angedeutet ist. Durch Vermittlung der Quecksilberkontakte wird erreicht, daß durch die zwischen ihnen liegenden Teile des Drahtes I — II und II — III ein Strom hindurchgeht, welcher den Draht durch Wahl entsprechender Widerstände bei  $W_1$ ,  $W_2$  und  $W_3$  auf jede gewünschte Temperatur erhitzt.  $S$  ist eine Heizspirale, welche den Faden auf die Höchsttemperatur bringt. Die Heizspirale wird am besten so angeordnet, daß ihre Entfernung von  $P_3$  kleiner gewählt wird als von  $P_2$ , da dann infolge der näherliegenden, abkühlenden Teile bei  $P_2$  eine schnellere Abkühlung von dem Punkt der höchsten Erhitzung eintritt.

Es hat sich nun gezeigt, daß zwischen Faden und Quecksilberkontakt in unmittelbarer Nähe des letzteren mit freiem Auge gar nicht wahrnehmbare Lichtbögen entstehen, welche infolge vorzeitiger, starker Überhitzung des Drahtes auf die einheitliche Kristallbildung störend einwirken können. Dieser Übelstand wird durch D. R. P. 293 237 dadurch beseitigt, daß die betreffende Stelle durch einen reduzierenden oder inerten Gasstrom abgekühlt wird. Die Zuführung des Gasstroms kann so erfolgen, daß das Gaszuleitungsrohr in der Weise verlängert wird, daß sein Ende in der Nähe des zu kühlenden Kontaktes mündet.

Die Anzahl der Kammern kann nach Belieben geändert werden. Überhaupt ist die Ausführungsform der Abb. 29 lediglich schematisch zu verstehen.

In Patent Nr. 293 236 derselben Firma vom 18. März 1914 ist eine andere Vorrichtung, welche demselben Zwecke dient, beschrieben. Die Firma führt in der Patentschrift aus, daß der gewünschte Erfolg am günstigsten und sichersten dann erreicht werden kann, wenn die Temperatur bis zu dem Punkte höchster Erhitzung sehr allmählich und vollkommen konstant ansteigt, was unter Verwendung von Kontakten nicht möglich ist. Um dies zu erreichen, wird der Faden statt durch den elektrischen Strom von einer äußeren Heizquelle erwärmt.

Die Vorrichtung besteht aus einem in kegelförmiger Gestalt aufgewundenem Draht aus schwer schmelzbaren Metall,

beispielsweise aus Wolfram. Die Spiralwindungen sind zweckmäßig so angeordnet, daß auf der Seite der Kegelbasis der Abstand der einzelnen Windungen des Drahtes am größten ist und nach der Richtung der Kegelspitze hin allmählich abnimmt, so daß die Windungen an der Kegelspitze am engsten aneinander gedrängt sind. Die beiden Enden der Spirale sind mit den Polen einer Stromquelle verbunden.

Die Heizspirale ist in Abb. 30 dargestellt.  $D$  ist der Draht, welcher in der Richtung des Pfeiles durch die Spirale hindurchgezogen wird.

Der eigentliche Punkt höchster Erhitzung kann sich in dem untersten Enden der Heizspirale  $S_1$  selbst befinden, zweckmäßig ist es aber, ihn durch eine zweite, besondere, kurze Heizspirale  $S_2$  zu schaffen, die man unmittelbar unter dem Ende der Spirale  $S_1$  anordnet und deren Ende man unabhängig von  $S_1$  mit den Polen einer Stromquelle verbindet. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß bei einem etwaigen Durchbrennen der dauernd auf höchste Weißglut erhitzten Hauptheizspirale  $S_2$  nur

dieses kurze Spiralstück ausgewechselt werden muß, was sich im Dauerbetriebe als sehr zweckmäßig erwiesen hat.

Der ganze Heizkörper wird in einen oben und unten luftdicht abgeschlossenen Glaszyylinder eingeschlossen. Der Faden wird vor dem Eintritt in den Formierapparat bei mäßiger Temperatur getrocknet und durch entsprechende Getriebe gleichmäßig mit einer experimentell zu ermittelnden Geschwindigkeit durch die Wolframspiralen hindurchbewegt. Die verwendeten Formergase müssen vollständig sauer-

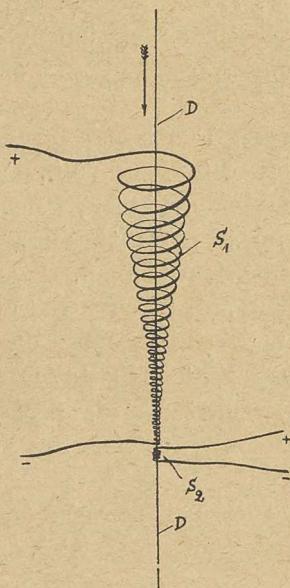


Abb. 30.

stofffrei und trocken sein. Nach dem Zusatzpatent Nr. 293 238 wird nicht ein einziger Draht, sondern gleichzeitig mehrere (gewöhnlich acht) durch die Wolframspirale hindurchgeführt, wodurch eine wesentliche Vereinfachung und eine bedeutende Ersparnis bei der Herstellung des Drahtes erzielt wird.

Schließlich sei noch eines Vorschlagे� gedacht, welcher die Energie auffallender Elektronen zur Erhitzung des Drahtes ausnutzt. Der Draht wird durch eine hochevakuierte Kathodenröhre gezogen und hierbei dem Strome der Elektronen ausgesetzt, welche von der Kathode zur Anode der Röhre übergehen und bei einer Stromstärke von einigen Amperē den Draht fast augenblicklich in Weißglut versetzen.

Durch Regulierung der Stromstärke mittels eines Widerstandes kann die gewünschte Temperatur eingestellt werden.

Ist der Faden *n* selbst Anode, so ist der Vorgang noch einfacher. In diesem Falle werden die den Kathodenstrahlen direkt ausgesetzten Teile des Drahtes auf die höchste Weißglut erhitzt. Der Vorteil des Verfahrens soll darin liegen, daß eine Umlagerung der Moleküle durch das Vakuum und das Auftreffen der Kathodenstrahlen (Ionenstoß) günstig beeinflußt wird.

Die Julius Pintsch Akt.-Ges. hat nun gefunden, daß entgegen jeder Erwartung derartige Einkristalldrähte durch Ziehen oder Walzen einer mechanischen Bearbeitung unterzogen werden können, ohne daß der Kristall zertrümmt wird. Die Firma führt in dem Zusatzpatent Nr. 296 191 aus, daß man die Drähte selbst in der Kälte sehr leicht durch eine Düse hindurchziehen kann, wobei lediglich eine Deformation des Kristalls in der Weise eintritt, daß er sich streckt, ohne daß das innere Gefüge eine Veränderung erleidet. Auf diese Weise ist es möglich, die Drähte noch um ein beträchtliches zu verjüngen. Auch lassen sich durch eine derartige mechanische Nachbehandlung alle beim Pressen etwa entstehenden Ungleichmäßigkeiten im Querschnitt der Drähte ausgleichen.

Die Einkristalldrähte zeigen gegenüber den auf rein mechanischem Wege hergestellten duktilen Wolframdrähten den Vorteil, daß sie selbst nach längerer Glühdauer nicht spröde werden und eine verminderde Zerstäubung aufweisen. Man hat jedoch stets einen gewissen Unsicherheitsfaktor mit in Kauf zu nehmen, da sich der Draht infolge von Unregelmäßigkeiten im Material früher oder später zuweilen in zwei oder mehrere Kristalle zerlegt. Die Bruchgefahr ist dann eine viel größere ist als bei anderen Drähten, da die Stoßstelle zweier Kristalle stets den gesamten Drahtquerschnitt einnimmt.

Die Einkristalldrähte werden nicht nur von der Firma Julius Pintsch Akt.-Ges., sondern auch von anderen Fabriken verwendet, welche das *Wolframziehverfahren* der General Electric Company nicht ausüben dürfen.

#### 4. Die Herstellung von Wolframdrähten durch mechanische Bearbeitung.

Bereits vor dem Bekanntwerden des Thoriumdioxydspritzverfahrens war es gelungen, auf dem Wege rein mechanischer Behandlung, also durch Walzen, Hämmern und Ziehen zu duktilen Wolframdrähten zu gelangen. Wenn man bedenkt, daß fast alle Metalle, wie Eisen, Kupfer, Gold usw. schon seit langer Zeit zu den feinsten Drähten ausgewalzt und ausgezogen wurden, so lag es nahe, die feinen, für Glühlampen verwendeten Drähte ebenfalls auf diesem einfachen Wege herzustellen. In den Iridium-<sup>1)</sup>, Platin- und Tantallampen hat man denn auch von vornherein gezogene Drähte verwendet. Osmium und Wolfram setzten jedoch der Bearbeitung derart große Schwierigkeiten entgegen, daß es den Anschein gewann, als seien diese Metalle überhaupt nicht mechanisch bearbeitbar.

Die Firma Siemens & Halske, Berlin, die Herstellerin der Tantallampe, hatte die ersten Erfolge mit

---

<sup>1)</sup> J. W. Staite, engl. Pat. 12 212, 1848.

gezogenen Wolframdrähten zu verzeichnen<sup>1)</sup>). Nach vielen vergeblichen Bemühungen machte sie die Entdeckung, daß eine Legierung von Wolfram und Nickel (ca. 6 %) hervorragend duktil ist. Das Verfahren wurde in folgender Weise ausgeführt. Das Wolfram-pulver wird mit reinem Nickeloxyd innig vermischt und unter starkem hydraulischem Druck zu Stäben gepreßt. Bei etwa 1000° werden die Oxyde in einer Wasserstoffatmosphäre vollständig reduziert. Durch Erhitzen auf ca. 1600° bildet sich dann eine Wolfram-Nickellegierung, welche auch bei gewöhnlicher Temperatur bearbeitbar bleibt, wenn man sie von Zeit zu Zeit durch Erhitzen auf 1600° ausglüht. Die Stäbe werden bis zu einem Durchmesser von 1 mm ausgewalzt, dann durch Zieheisen und schließlich durch Diamantdüsen zu feinsten Drähten ausgezogen. Die Drähte werden alsdann auf die Traggestelle aufmontiert und erst jetzt wird im Vakuum durch Erhitzen mittels des elektrischen Stromes das Nickel verdampft. Dieses schlägt sich z. T. auch auf dem Gestell nieder und muß durch Eintauchen in Salpetersäure oder eine wässrige Lösung von Salpetersäure — Phosphorsäure oder Chromsäure-Phosphorsäure (D. R. P. 238 756, 1911) entfernt werden. Der Draht ist brüchig und ziemlich porös und neigt infolgedessen mehr zur Zerstäubung als Drähte mit glatter Oberfläche. Die genannte Firma hat ihre Wotanlampe in der Tat eine zeitlang nach diesem Verfahren hergestellt.

Gleichzeitig war es einer amerikanischen Firma, der General Electric Company, gelungen, reines Wolfram mechanisch zu Drähten zu verarbeiten<sup>2)</sup>), aber erst im Jahre 1909 berichtet die gleiche Gesellschaft über die eigentliche Duktilisierung des Wolframs<sup>3)</sup>). Das Verfahren hat in der ganzen Welt eine vollständige Umwälzung auf dem Gebiete der Glühlampenfabrikation hervorgerufen. In Deutschland wurden die Schutzrechte von der Allgemeinen

<sup>1)</sup> D. R. P. 233 885, 1907 und D. R. P. 232 260, 1908.

<sup>2)</sup> Engl. Pat. 21 513, 1906 und 16 530, 1907.

<sup>3)</sup> Engl. Pat. 23 499, 1909.

Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin, erworben<sup>1)</sup>). Infolge wichtiger Patente für die Herstellung der Lampen, welche im Besitze der Siemens & Halske A.-G. und der Deutschen Glühlicht A.-G. (Osramwerke G. m. b. H.) waren, kam es zur Vereinigung der genannten drei Firmen zwecks Ausnutzung der Patente der G. E. C. Von dieser Vereinigung erwarben dann später noch die Bergmann-Elektrizitäts-Werke A.-G. das Recht zur Herstellung von Wolframdrähten nach obigem Verfahren. Dieser Konzern bestreitet heute den weitaus größten Teil der gesamten Glühlampenproduktion in Deutschland.

Während in den ersten beiden Patenten der G. E. C. vom Jahre 1906 und 1907 gezeigt wurde, wie das Wolfram bei erhöhter Temperatur gezogen oder anderweitig bearbeitet oder geformt werden kann, wurde in der Patentschrift vom Jahre 1909 dargelegt, daß es nach geeigneter Vorbehandlung auch bei gewöhnlicher Temperatur nach Belieben in eine gewünschte Form gebracht werden kann und seine Duktilität behält.

Daß das in der Kälte vollkommen spröde Wolframmetall in der Hitze schweißbar und schmiedbar sei, war bereits seit langem bekannt (Moissau, Der elektrische Ofen, 1900). Es fehlte eben an den nötigen Verfahren und Einrichtungen, um durch mechanische Bearbeitung Wolfram in Drahtform herstellen zu können. Vor allem hatte man nicht erwartet, daß auf diese Weise bearbeitetes Wolfram auch bei gewöhnlicher Temperatur duktil sein würde. Gerade dieser Umstand hat dem mechanischen Verfahren erst seine überragende Bedeutung verliehen.

Die erste Schwierigkeit ist die Erlangung eines hinreichend festen und großen Werkstückes, an welchem die mechanische Bearbeitung vorgenommen werden kann. Infolge seines hohen Schmelzpunktes und seiner großen Reak-

---

<sup>1)</sup> D. R. P. 269 498 vom 6. Oktober 1910.

tionsfähigkeit bei derartig hohen Temperaturen war man genötigt, zur Darstellung reinen Wolframs den Umweg über das Wolframtrioxyd einzuschlagen. Da aber die Temperaturen, bei welchen die Reduktion des Oxyds zu Metall erfolgt, weit unterhalb der Schmelztemperatur des letzteren liegen, konnte man dasselbe nur in Pulverform erhalten. Schmelzen und Gießen des pulverförmigen Wolframs hat sich als undurchführbar erwiesen, weil man kein geeignetes Gefäßmaterial kennt, welches sich auf genügend hohe Temperaturen bringen ließe, ohne mit dem Wolfram chemische Verbindungen einzugehen. Ebenso hat eine elektrische Erschmelzung oder Reinigung, bei welcher eines Gefäßes entbehrt werden kann, wenn man das Wolfram selbst als Material für Elektroden wählt, zwischen denen ein elektrischer Lichtbogen erzeugt wird, zu keinen befriedigenden Resultaten geführt.

Man weiß sich nun in der Weise zu helfen, daß man das Wolframpulver unter Anwendung sehr hoher Drucke zunächst zu Stäben preßt. Man benutzt dazu Preßformen aus Gußeisen oder -stahl, deren Stirn- und Seitenwände zu entfernen sind, um die fertig gepreßten Stäbe unbeschädigt herausnehmen zu können. Die Form soll hochpoliert sein und wird zweckmäßig mit einer Mischung von Terpentine und gekochtem Leinsamenöl eingeoölt. Die anzuwendenden Drucke (man kann eine hydraulische Presse benutzen) müssen infolge der außerordentlichen Härte und Sprödigkeit des Wolframs sehr hoch sein (etwa 5000 kg/qcm), um Stäbe zu erhalten, welche soweit zusammenhalten, daß man sie handhaben kann. Die Größe des Druckes ist im besonderen abhängig von der Korngröße des verwendeten Wolframpulvers. An sich müßte die Verwendung eines möglichst feinpulverigen Metalls die besten Ergebnisse zeitigen, da alsdann die Zwischenräume zwischen den einzelnen Kristallen am kleinsten sind. Bei Verwendung eines zu feinen Pulvers zeigt es sich jedoch, daß größere Mengen Luft mit eingeschlossen werden, welche sich bei der Entlastung des Stabes ausdehnen

und diesen zerstören, fernerhin darf der Druck nicht so groß sein, daß sich in den gepreßten Stäben Sprünge bilden, wozu Ecken oder Kanten neigen. Die Form soll so stark gewählt werden, daß sie während der Anwendung des Druckes keine nennenswerte Deformation erleidet, da dies sonst ebenfalls zur Bildung von Sprüngen in den gepreßten Stäben beiträgt. Zur Vergrößerung der Bindefähigkeit und des Sinterungsvermögens der Preßlinge kann dem groben auch feines Wolframpulver zugesetzt werden.

Die Stäbe werden zweckmäßig 20 cm lang gewählt bei einem quadratischen Querschnitt von 10 mm Seitenlänge. Wenn die Stäbe aus der Form genommen werden, besitzen sie gerade genug Festigkeit, um zusammenzuhalten. Zunächst werden dieselben dann, um sie haltbar zu machen, einer Vorsinterung unterzogen. Sie werden zu diesem Zweck in Quarzpulver eingepackt und in Eisenschiffchen in einen elektrisch oder mit Gas geheizten Röhrenofen gebracht, durch welchen Wasserstoff strömt. Sind die Stäbe aus feinerem Pulver gefertigt und haben sie die angegebene Größe, so werden sie ungefähr 2 Stunden lang auf etwa  $1200^{\circ}$  erhitzt. Hierbei destilliert das Schmieröl, der Kohlenstoffrest wird durch den Wasserstoffstrom beseitigt, die Stäbe schrumpfen zusammen und werden um ein beträchtliches fester.

Was das verwendete Wolframpulver selbst anbelangt, so ist es für das Gelingen einer mechanischen Bearbeitung von allergrößter Wichtigkeit, daß es sorgfältig von allen Fremdbestandteilen befreit ist. Vor allen Dingen zeigen selbst noch die geringsten Spuren von Sauerstoff eine außerordentlich schädliche Wirkung, weil sie das Wolfram brüchig machen. Hingegen hat sich ein geringer Gehalt an Kohlenstoff eher nützlich als schädlich erwiesen, da er mit dem Wolfram ein Karbid bildet und dem Wolframkörper eine gewisse Festigkeit gibt. Doch ist es auch möglich, daß diese Vergrößerung der Festigkeit nicht von der Anwesenheit von Kohlenstoff im fertigen Produkt herrührt, sondern daher, daß der Kohlenstoff die letzten Spuren von Wolframoxyd

beseitigt, welches wie oben erwähnt, eine ausgesprochen nachteilige Wirkung ausübt. Der Kohlenstoff kann dem Wolfram-pulver in Form von Ruß zu etwa 0,05% zugesetzt werden.

Die Stäbe können auch statt aus reinem Wolfram unter Zuhilfenahme eines Bindemittels (z. B. Glukose unter Zusatz geringer Mengen Wolframoxyd) gepreßt werden. Neuerdings scheint mit Vorteil das Thoriumhydroxyd als Bindemittel verwendet zu werden, welches im Laufe der Verarbeitung in Thoriumoxyd übergeführt wird und verhindert, daß die Drähte schon nach kurzem Glühen brüchig werden. Ferner wird durch einen derartigen Zuschlag der Wechselstromeffekt ganz bedeutend herabgemindert. In gleicher Weise wirkt auch das Kalziumoxyd und metallisches Silizium, welches sich mit Wolfram legiert.

Nach beendeter Vorsinterung werden die Stäbe dann der eigentlichen Sinterung unterzogen. Ein von der Glüh-lampenbedarf - G. m. b. H. hergestellter Sinterapparat ist in Abb. 31 dargestellt. Je ein Stab wird lotrecht zwischen wassergekühlte Elektroden eingespannt. Dann wird der eiserne Zylinder heruntergelassen und sorgfältig mit der Grundplatte abgedichtet. Mittels je eines Gaszufuhr- und -ab-

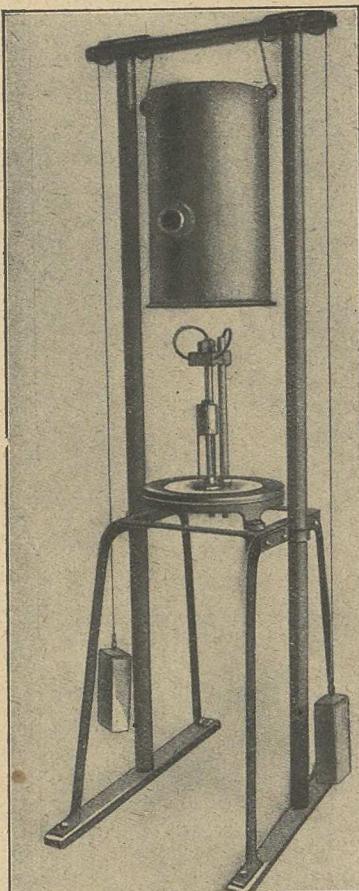


Abb. 31.

führungsrohres wird der Zylinder während des ganzen Prozesses von reinem Wasserstoffgas oder einem Wasserstoff-Stickstoffgemisch durchströmt. Durch Einschalten eines elektrischen Stromes werden die Stäbe allmählich bis nahe an den Schmelzpunkt erhitzt. Man verwendet einen Wechselstrom von ungefähr 1400 Amp. und leitet diesen 10 Minuten oder auch länger durch den Stab. Es ist wünschenswert, aber nicht unbedingt erforderlich, daß der Strom nicht plötzlich ausgeschaltet, sondern allmählich während einer weiteren Dauer von etwa 6 Minuten verringert wird, damit die Stäbe langsam auskühlen. Während des Stromdurchganges von 1400 Amp. befinden sich die Stäbe auf glänzender Weißglut und sintern zu dichten, harten Stäben zusammen, welche bei Zimmertemperatur zerbrechlich, bei höheren Temperaturen geschmeidig sind. Damit die Stäbe beim Zusammensintern genügend Bewegungsfreiheit haben, muß mindestens eine Elektrode beweglich angeordnet sein.

Nachdem auf diese Weise ein zusammenhängender Wolframkörper gewonnen worden ist, nimmt die mechanische Bearbeitung ihren Anfang.

Geht man von Werkstücken von verhältnismäßig geringer Größe aus, so können dieselben unmittelbar einem Ziehprozeß unterworfen werden. Zwecks Erhöhung der Leistung und auch aus anderen Gründen ist es jedoch ratsam, von verhältnismäßig großen Stäben oder Stangen auszugehen. Diese werden dann, um sie in ihrer Größe genügend zu reduzieren, einer mechanischen Vorbehandlung durch Walzen oder Hämmern unterzogen, worauf später eingegangen werden wird. Zunächst werde ein Beispiel für den zuerst erwähnten Fall beschrieben, daß also die Werkstücke unmittelbar dem Ziehprozeß unterworfen werden.

Beim Ziehen von Metallen werden die Werkstücke ganz allmählich zu immer schlankerer Gestalt ausgestreckt, indem man sie durch Öffnungen hindurchzieht, welche etwas enger sind als der Querschnitt der Drähte.

Um die dünnen Drähte herzustellen, welche in Glühlampen gebraucht werden, werden Ziehsteine benutzt. Die größeren Ziehsteine können aus Schnelllaufstahl hergestellt werden, so daß sie auf Rotglut erhitzt werden können und dabei hart bleiben. Ein solcher Ziehstein ist in Abb. 32 dargestellt.

Zweckmäßiger werden jedoch für alle Durchmesser Diamanten benutzt (siehe Abb. 23). Da die Wolframkörper bei gewöhnlicher Temperatur spröde sind, muß die mechanische Bearbeitung bei erhöhter Temperatur vorgenommen werden. Die Düsen werden deshalb in geeigneter Weise erwärmt, z. B. durch den elektrischen Strom oder durch Gas. Eine einfache

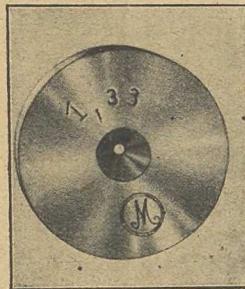


Abb. 32.

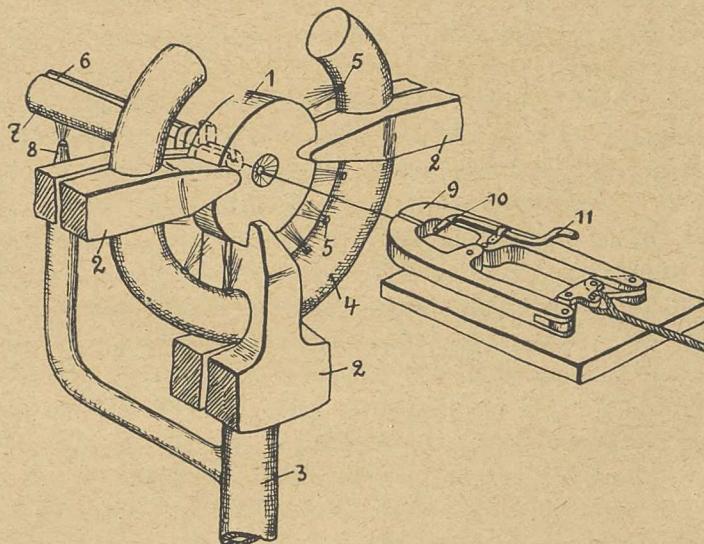


Abb. 33.

Anordnung zum Erhitzen der Düsen mittels Gasflammen ist in Abb. 33 dargestellt. Bei dieser Anordnung besteht die mit 1 bezeichnete Düse aus einem zylindrischen Metallstück,

in welches der Diamant in üblicher Weise eingesetzt ist. Das Metallstück wird von Klemmbacken 2 getragen. Ein Gasrohr 3 führt Gas zu dem kreisförmigen Brenner 4, aus dessen Löchern mehrere Flammen gegen den Rand der Düse gerichtet werden. Bevor der Draht in die Düse eintritt, wird er durch einen Schlitz 6 eines zylindrischen Stabes 7 geführt, welcher gleichfalls durch eine aus der Leitung 8 austretende Flamme erhitzt wird. Auf diese Weise wird der Draht erwärmt, ehe er die Düse erreicht. Die zum Ziehen des Drahtes dienende Klemme kann in irgendeiner geeigneten Form ausgeführt sein, wie schematisch bei 9 angedeutet ist. Die Klemmbacken werden mittels Gas erhitzt, welches dem kleinen, an der Klemme befestigten Brenner 10 durch die Leitung 11 zugeführt wird.

Die Drähte werden zugespitzt, um sie in die Düsen leicht einführen zu können. Hierauf wie auf das Schmieren der Düsen bzw. Drähte wird späterhin noch ausführlich eingegangen werden.

Die beim Ziehen nacheinander zu benutzenden Düsen unterscheiden sich nur sehr wenig im Durchmesser. Geht man beispielsweise von einem gesinterten Stabe aus, welcher einen Durchmesser von etwa 0,65 mm besitzt und nicht vorher mechanisch bearbeitet worden ist, so kann man die Düsen bis zu etwa 0,35 mm stufenförmig um etwa 0,0125 mm abnehmen lassen, von 0,35 bis 0,1 mm um je 0,006 mm, von 0,1 bis 0,75 mm um je 0,003 mm, von 0,77 bis 0,375 mm um je 0,0035 mm und von 0,375 bis 0,25 mm oder noch weniger um je 0,00125 mm. Die Temperatur soll beim Ziehen zwischen 0,65 und 0,45 mm 600 bis 650° betragen, dann bis zu 0,25 mm 500° und schließlich 400°.

Ist ein Stab von ursprünglich 0,65 mm bis zu einem Durchmesser von 0,18 mm gezogen, so kann er bei Zimmertemperatur ohne zu brechen um den Finger gewickelt werden. Bei Fortsetzung des Ziehprozesses bis zu geringerem Durchmesser wird der Draht mehr und mehr geschmeidig, bis er bei ungefähr 0,1 mm in jedem Sinn duktil ist und wie jedes

andere duktile Metall behandelt, also durch Düsen gezogen werden kann, die nicht über Zimmertemperatur erhitzt sind. Doch wird es gewöhnlich vorgezogen, die Düsen auch auf den letzten Stufen des Ziehprozesses zu erhitzen, da hierdurch das Ziehen etwas erleichtert wird.

Eine geeignete Methode, das Wolfram während des Ziehens heiß zu halten, besteht auch darin, daß man elektrischen Strom durch den Draht schickt. Dabei ist es zweckmäßig, die Düsen und den erhitzten Teil des Drahtes in einen evakuierten oder mit Wasserstoff oder einem anderen reduzierenden Gase gefüllten Behälter einzuschließen, um den Draht vor Oxydation zu schützen.

Die völlige Veränderung der mechanischen Eigenschaften des Wolframs durch das Ziehen ist auf eine weitgehende Umwandlung der Struktur des Wolframdrahtes während der mechanischen Bearbeitung zurückzuführen.

Der gesinterte Stab stellt ein Konglomerat von mehr oder minder großen Kristallen dar. Zwar geben sich diese nicht durch ihre äußere Gestalt als solche zu erkennen, da dieselben bei ihrer Entstehung an der freien Ausbildung behindert waren, wohl aber sind die durch kristallographische Untersuchung besonderer Eigenschaften, wie Elastizität und Spaltbarkeit, als Kristalle zu identifizieren.

Unterwirft man den gesinterten Stab einem Ziehprozeß bzw. einer anderen geeigneten mechanischen Behandlung, so lagern sich die einzelnen Teilchen zunächst enger aneinander, das Material verdichtet sich. Bei weiterer einseitiger Behandlung werden die Kristalle mehr und mehr zertrümmert. Dabei wird die obere Elastizitätsgrenze derselben überschritten, es bilden sich im Sinne des von T a m m a n n beschriebenen Vorganges eine Anzahl von Gleitlinien längs des Drahtes aus, so daß eine Umlagerung der Kristallindividuen eintritt und das Material eine ausgesprochen faserige Struktur annimmt und einen glasigen oder muscheligen Bruch zeigt. Die Abb. 34, welche einen Längsschnitt durch einen solchen Draht darstellt, zeigt diese Struktur ausgezeichnet. Durch

diese Gefügeänderung wird der Draht bei fortschreitender Bearbeitung mehr und mehr elastisch, und schließlich ist das Wolfram bei Zimmertemperatur vollkommen geschmeidig und duktil, dabei aber fest und zähe. Es besitzt eine außerordentlich hohe Zugfestigkeit, welche in einzelnen untersuchten Fällen 420 bis 460 kg/mn.<sup>2</sup> betrug. Allerdings lassen sich die duktilen Metalle nicht ohne weiteres bei Zimmertemperatur nach Belieben ziehen. Die Drähte erlangen nämlich bald eine derartige Härte, daß sie vor der weiteren Bearbeitung kurz ausgeglüht werden müssen, um sie wieder

weich zu machen.

Die dadurch hervorgerufenen Veränderungen der physikalischen Eigenchaften der Drähte wurden von Dr. O. Kruh einer näheren Untersuchung unterzogen<sup>1)</sup>), deren Ergebnisse hier mitgeteilt seien. Wie bei anderen Metal-



Abb. 34.

len, so wird auch beim gezogenen Wolframdraht durch jede Änderung des Härtezustandes der Durchmesser verändert, und zwar in dem Sinne, daß der Durchmesser eines hart gezogenen Wolframdrähtes größer ist als der eines geglühten. In Tabelle 10 sind die Ergebnisse diesbezüglicher Messungen an Drähten verschiedener Stärke zusammengestellt.

Die ersten drei Spalten geben uns Durchmesser, Gewicht und spez. Gewicht von nicht geglühtem Wolframdraht, wie er aus der Ziehmaschine herauskommt, mit nachfolgender Reinigung. Glüht man den Draht nur kurze Zeit in einer neutralen Atmosphäre bei schwacher Rotglut so ändert sich,

<sup>1)</sup> Dr. O. Kruh, Zur Konstruktion und Berechnung des Leuchtkörpers einer Glühlampe.

T a b e l l e 10.

Nicht geglüht, gereinigt			Geglüht		
Durchmesser mm	Gewicht mg	spez. Gewicht	Durchmesser mm	Gewicht mg	spez. Gewicht
0,025	8,25	16,49	0,023	8,00	20,42
0,036	14,25	14,84	0,035	14,15	17,28
0,038	17,25	17,49	0,034	17,10	19,98
0,056	39,00	14,52	0,054	39,00	19,39
0,084	95,25	14,90	0,079	95,50	16,21
0,089	96,50	12,91	0,084	95,50	19,20
0,110	139,50	15,07	0,100	138,50	18,69
0,112	163,00	17,54	0,110	162,70	18,16

wie aus den letzten drei Spalten ersichtlich ist, der Durchmesser beträchtlich, während das Gewicht fast unverändert bleibt. Dementsprechend nimmt das spez. Gewicht beim Glühen bedeutend zu.

Der Einfluß des Glühens drückt sich auch in der Änderung des Widerstandes vor und nach dem Glühen aus. In Tabelle 11 sind bezügliche Messungsergebnisse wiedergegeben. Die Angaben beziehen sich allerdings nicht auf die Zwischenglühen beim Ziehen, sondern auf fertige Lampen.

T a b e l l e 11.

Nr.	Lampen-type	Drahtlänge mm	Durchmesser mm	Widerstand für 100 mm Länge		Widerstandsänderungen %
				vor dem Glühen	nach dem Glühen	
1	110/32	515	0,035	32,1	29,2	— 9,03
2	110/32	530	0,035	33,1	30,1	— 9,06
3	110/32	542	0,035	34,0	30,3	—10,88
4	110/32	534	0,035	33,7	30,1	—10,68
5	110/25	504	0,030	40,8	37,1	— 9,06
6	110/25	503	0,030	40,7	36,2	—11,05
7	110/25	501	0,030	41,6	36,3	—12,74
8	110/10	415	0,020	91,0	81,5	—10,43
9	110/10	423	0,020	92,1	82,0	—10,96
10	110/10	406	0,020	88,9	80,1	— 9,89

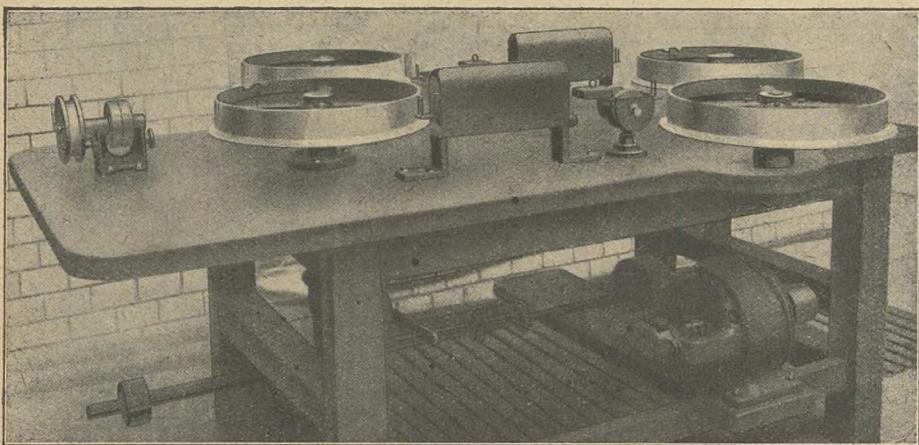


Abb. 35.

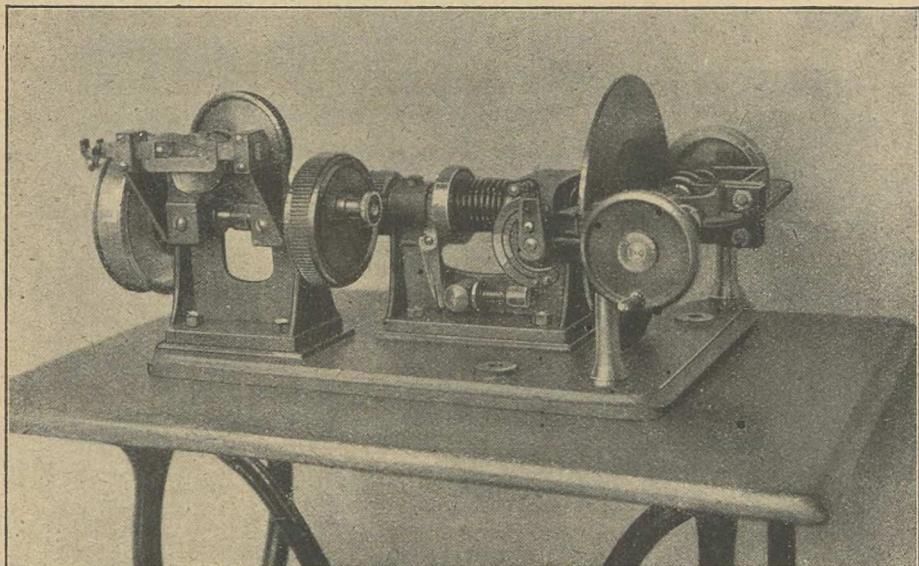


Abb. 36.

Ziehmaschinen sind in Abb. 35 und 36 dargestellt. Die Maschinen sind von der Glühlampenbedarf-G. m. b. H., Berlin-Treptow, gebaut. Abb. 36 zeigt einen doppelten horizontalen Halbfeinzug mit Schmier- und Heizvorrichtung. Die eine Trommel wickelt den Draht von der anderen ab und zieht ihn durch die Düse. Abb. 37 veranschaulicht eine Präzisionsziehbank für die feinsten Wolframdrähte. Mit dieser Maschine können Drähte bis zu 0,008 mm Durchmesser gezogen werden. Das Ziehen derartig feiner Drähte ist besonders schwierig. Damit der Draht bei etwa

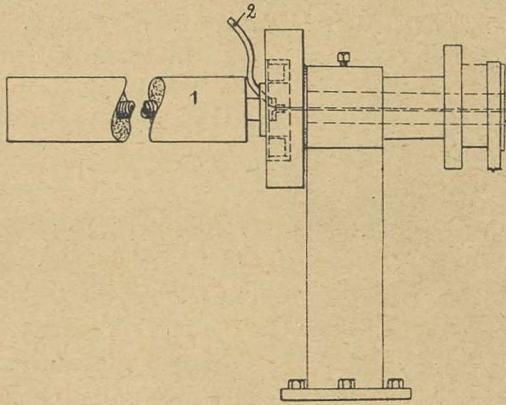


Abb. 37.

eintretenden Störungen nicht reißt, ist eine höchst empfindliche Reibungskupplung eingebaut. Ein Friktionsantrieb ermöglicht eine genaue Einregulierung der Geschwindigkeit während des Betriebes. Der Kraftbedarf von zehn Feinzügen ist ca.  $\frac{3}{4}$  PS, Grobzüge benötigen je nach Stärke  $\frac{1}{2}$  bis 1 PS, Mittelzüge  $\frac{1}{2}$  PS.

Zwecks Erhöhung der Leistung und auch aus anderen Gründen ist es vorteilhaft, von verhältnismäßig großen Stäben oder Stangen auszugehen, welche durch wiederholtes Walzen oder Hämmern in ihrer Größe so weit verringert werden müssen, daß sie auf den Ziehbanken zu feineren Drähten ausgezogen werden können.

Der gesinterte Stab wird zunächst in einem von Wasserstoff durchströmten elektrisch geheizten Porzellanofen bis auf ungefähr  $1300^{\circ}$  C erhitzt, dann noch heiß in das Schlagwerk einer nachstehend beschriebenen Hämmermaschine eingeführt. Nachdem der Querschnitt des Stabes verringert worden ist, ist es vorteilhaft, den Ofen unmittelbar vor dem Hammerwerk anzutragen, wie die Abb. 37 zeigt, so daß der Wolframstab in das Schlagwerk gelangt, ohne zu sehr abzukühlen, bevor er der Wirkung der Hämmerdüsen unterworfen wird. Mittels des Rohres 2 wird ein Wasserstoffstrom in das Innere des Ofens und in den Raum zwischen den Hämmerdüsen geleitet.

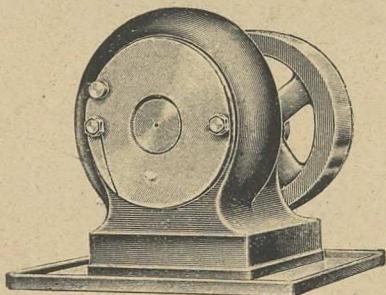


Abb. 38.

Wenn das Ofenrohr ziemlich lang gewählt wird, braucht die Ofentemperatur nicht höher zu sein als diejenige, welche der Draht bei der Bearbeitung erfordert, und es ist alsdann keine Gefahr der Überhitzung vorhanden, selbst wenn der Lauf des Drahtes durch das Hämmerwerk für einen Augenblick unterbrochen wird. Der durch den Ofen geleitete Wasserstoff verhütet jede nennenswerte Oxydation und wirkt auch sonst vorteilhaft.

Abb. 38 zeigt eine von Arno Loose in Chemnitz hergestellte Hämmermaschine in Ansicht. In Abb. 39 ist eine Hämmermaschine der Glühlampenbedarf-G. m. b. H., Berlin-Treptow, dargestellt, bei welcher die vordere Platte herumgelegt ist, um die Inneneinrichtung der Maschine sichtbar zu machen. Die Maschine ist mit Walzenabzug ausgerüstet.

Das Prinzip der Hämmermaschinen ist folgendes: Eine Riemenscheibe ist fest mit einer durchbohrten, vorn zu einem zylindrischen Kopf erweiterten Achse verbunden. In einer Aussparung des Kopfes sind symmetrisch zur Achsenmitte

zwei Hämmerbacken und an diese anschließend zwei Hämmer lose gelagert, welch letztere nach außen hin abgerundet sind. Zwischen dem Gehäuse und dem Achsenkopf der Maschine befindet sich ein frei beweglicher Rollenkranz mit paarig angeordneten, beweglichen Rollen, welche aus dem Kranz nach beiden Seiten etwas hervorstehen. Wird nun die Achse durch die Riemscheibe in Rotation versetzt, so werden Hämmerbacken und Hämmer zentrifugal nach außen gegen den Rollenkranz getrieben. So oft nun die Hämmer an

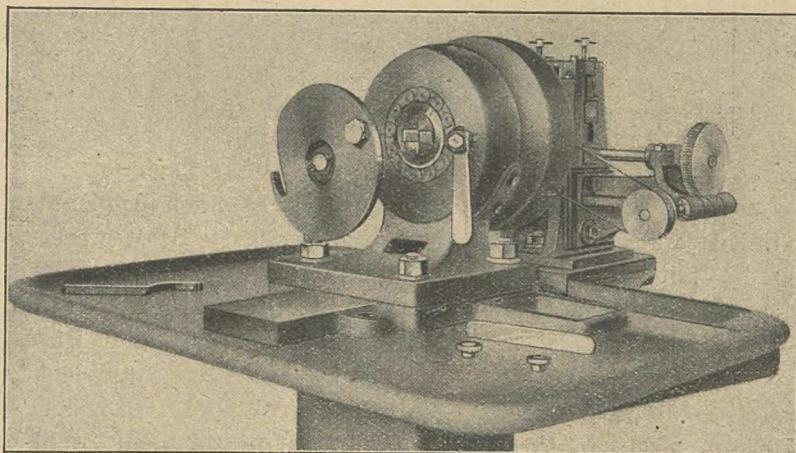


Abb. 39.

einem Rollenpaar vorbeigleiten, erhalten sie einen kräftigen Stoß und werden nach innen geschleudert. Dabei schlagen die Hämmer ihrerseits kräftig auf die Backen. Bei der Maschine der Abb. 38 wiederholt sich dieser Vorgang zwölftmal bei jeder Umdrehung.

Die Hämmerbacken bestehen aus best gehärtetem Stahl, desgleichen die Hämmer und Rollen. In Abb. 40 sind Hämmerbacken dargestellt. Dieselben besitzen eine von der Mitte aus nach beiden Seiten kegelig verlaufende Ausbohrung. Das mittlere Profil entspricht der Stärke des zu hämmern Stabes.

Zur Bearbeitung von Wolframdrähten geringeren Durchmessers werden auch mit Vorteil Diamantdüsen benutzt. Abb. 41 zeigt eine solche. Sie besteht aus einem Stahlblock 1, in welchem ein Diamant 2 eingebettet ist, der zur Hälfte abgeschnitten ist und so als Arbeitsfläche dient. Die Erfah-

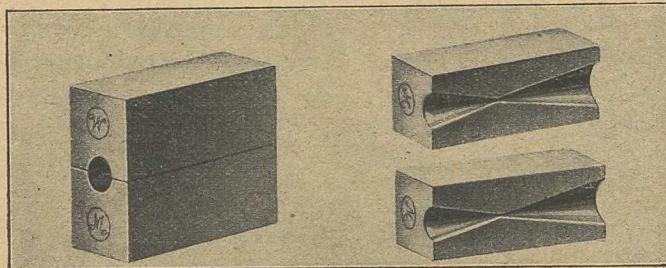


Abb. 40.

rung hat gezeigt, daß die gegenüberliegenden Diamantflächen während der normalen Arbeitsweise des Schlagwerkes nicht miteinander in Berührung kommen dürfen, da sich sonst leicht Sprünge bilden oder Splitter abspringen können. Um dieser Gefahr zu entgehen, befestigt man die Düse

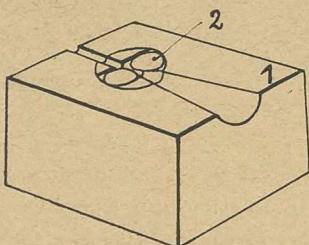


Abb. 41.

mittels Silberlots im Stahlblock, und nachdem die Oberfläche des Diamanten mit dem Stahlblock gleichgeschliffen worden ist, preßt man den Stein etwas unter diese Ebene nieder, unter Anwendung von hydraulischem Druck, wobei das Silberlot etwas nachgibt. Es werden vorzugs-

weise die unter dem Namen Carbonado bekannten Diamanten benutzt.

Die Arbeitsflächen der Düsen sollen kurz sein, damit sie nicht dem Wolfram zuviel Wärme entziehen. Die Stäbe sollen so rasch durch das Hammerwerk hindurchgeführt werden, daß dieses nicht zwei Schläge auf dieselbe Stelle ausübt, da jeder Schlag den hiervon unmittelbar getroffenen

Teil des Wolframs abkühlt und letzteres nicht kalt gehämmert werden kann. Bei jedesmaligem Durchgang durch das Schlagwerk kann der Stabdurchmesser um etwa 4% vermindert werden. Doch wird manchmal auch mit Erfolg eine viel größere Querschnittsverminderung angewandt.

Die Bedienung der Maschine erfolgt in der Weise, daß die größeren Werkstücke mit einer Zange auf der einen Seite heiß in das Hämmерwerk eingeführt und auf der anderen Seite gleichmäßig und schnell wieder herausgezogen werden. Nehmen wir an, die Maschine mache 600 Touren in der Minute, so würde der Stab beispielsweise in der abgebildeten Maschine von Loose pro Minute nahezu 4800 gleichmäßig auf den ganzen Umfang des Stabes verteilte Schläge erhalten. Bei der in Abb. 39 dargestellten Maschine erhöht sich diese Ziffer auf 7200. Ist der Stab auf Backenprofil heruntergehämmert, so werden die Matrizen gegen solche mit engerem Profil ausgewechselt. Sobald ein längerer Draht ausgehämmert ist, wird der Ofen wie beschrieben direkt vor der Hämmermaschine aufgestellt und der Draht von einem Walzenabzug durch das Hämmerwerk befördert (siehe Abb. 39).

Geht man von einem Wolframstab von quadratischem Querschnitt mit 10 mm Seitenlänge aus, so zeigt sich, daß spätestens nach Verringerung des Durchmessers auf ungefähr 1,5 mm im Hämmerwerk die mechanische Behandlung ausreichend ist, um das Wolfram in den duktilen Zustand überzuführen, so daß es bei Zimmertemperatur gebogen und bearbeitet werden kann. Statt des beschriebenen Hämmerprozesses kann auch ein Walzprozeß benutzt werden, wobei darauf zu achten ist, daß während des ganzen Walzprozesses eine geeignete Temperatur aufrecht erhalten wird.

Philips' Metallglühlampenfabrik A.-G. in Eindhoven, Holl., hat sich durch das D. R. P. 265 831, 1912 eine besondere Konstruktion für Hämmerbacken schützen lassen, welche gegenüber denjenigen der Abb. 39 eine bedeutend geringere Abnutzung aufweisen sollen.

Die Abb. 42 zeigt eine Stirnansicht mit teilweisem Schnitt und einen Längsschnitt durch den Kopf der Maschine mit den neuen Hämmerkörpern.

Abgesehen von der Konstruktion der Schlagwerkzeuge ist die Maschine ebenso gebaut, wie die anderen Hämmermaschinen. *a* ist der fest gelagerte Scheibenkopf, in welchem die Scheibe *b* gelagert ist. Diese kann mittels ihrer Achse *b'* in der Scheibe *a* bzw. deren Achse *a'* gedreht werden. Zwischen den Scheiben *a* und *b* liegen in bekannter Weise Rollen *c*, welche bei der Drehung der Scheibe *b* die Hämmervorrichtung in Bewegung setzen.

Die Hämmerkörper sind walzenförmig ausgebildet. Zwei Walzenkörper *d* werden von Tragstützen *e* umschlossen, die ihrerseits zusammen mit den Schlag- oder Hämmerteilen *f* in Führungen in der Scheibe *b* gelagert sind, wie bei den anderen Hämmermaschinen. Die walzenförmigen Schlagkörper *d* haben Rillen *d'*, welche so geformt sind, daß das von den beiden Rillen gebildete Kaliber ein Ovalkaliber nach Art der wirklichen Stabeisenwalzen darstellt, also mehr breit als hoch gestaltet wird.

Der Stab oder Draht wird durch die Walzen hindurchbewegt und setzt die letzteren seinerseits in Bewegung. Es kommen also immer wieder neue Stellen des Walzenkörpers mit dem glühenden Arbeitsgut in Berührung, so daß jede Schlagstelle sich wieder auskühlen kann, ehe sie erneut mit dem glühenden Arbeitsgut zusammentrifft. Auf diese Weise wird die Beanspruchung über den ganzen Walzenumfang verteilt, und da die Abnutzung ganz gleichmäßig auf dem gesamten Umfange des Walzenkörpers erfolgt, wird sich eine fühlbare Abnutzung gegenüber den anderen Einrichtungen erst spät bemerkbar machen.

Die Kanten des Ovalkalibers werden in der bei Stabeisenwalzwerken gebräuchlichen Art so ausgezogen, daß Gratbildung am Werkstück nicht eintritt. Die Ausbauchungen, die sich bei einem Schlag der Walzen an dem Werkstück an zwei gegenüberliegenden Stellen ergeben, werden dann

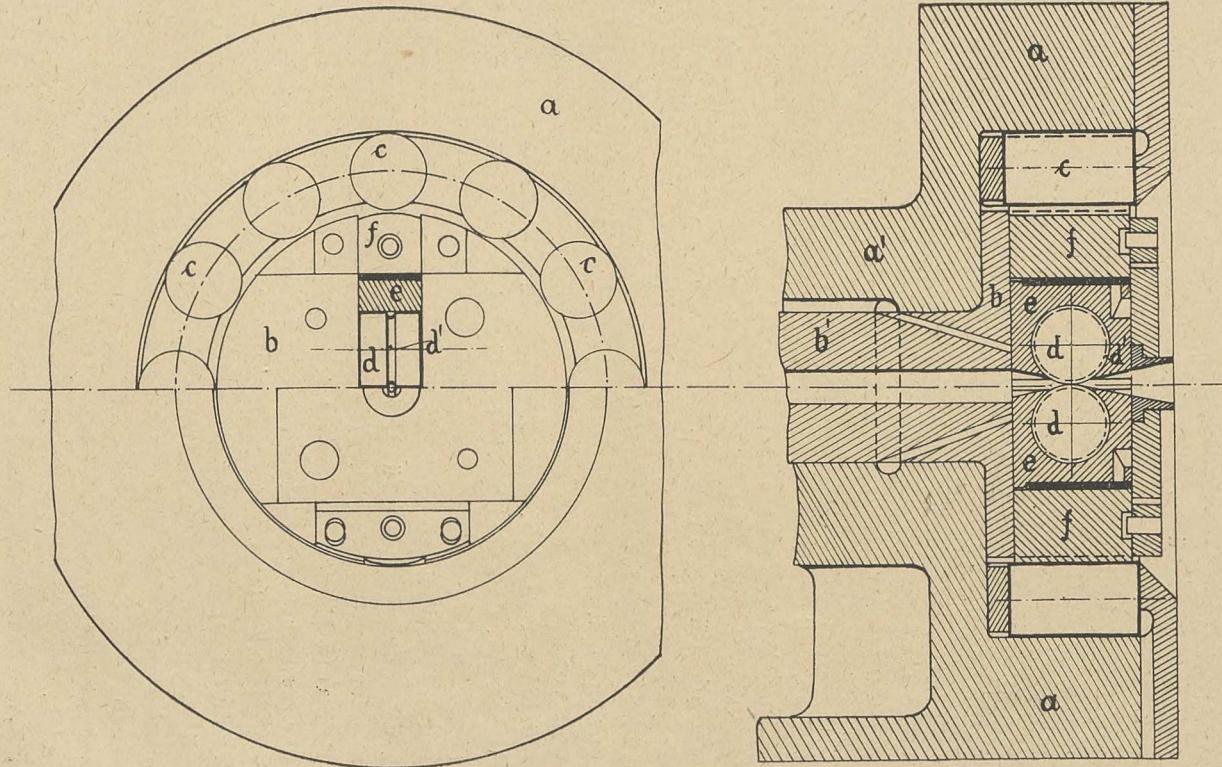


Abb. 42.

bei dem nächsten Schlag, bei welchem eine Verdrehung zwischen Werkstück und Walzenkörper bereits stattgefunden hat, immer wieder beseitigt.

Der Patentschrift der A. E. G. zufolge werden die Stäbe bis zu einem Durchmesser von 0,75 mm heruntergehämmert. Hierauf beginnt die Weiterverarbeitung auf den Ziehbänken.

Über das Ziehen von Wolframdrähten ist noch mancherlei zu berichten. Was zunächst die verwendeten Schmiermittel anbelangt, so eignet sich besonders eine im Handel erhältliche Graphitschmiere, welche aus einer Suspension von entflocktem Achesongraphit in Wasser oder Öl besteht. Die günstige Wirkung der Graphitschmiere kommt dadurch zu stande, daß das Wasser aus der auf den Draht aufgetragenen Suspension verdampft und einen sehr fein verteilten Überzug von Graphit hinterläßt, welcher in den Draht einbrennt und die Düse mit passiert.

Die Schmiermittel haben eine doppelte Aufgabe zu erfüllen. Einmal sollen sie den Draht einhüllen und vor Oxydation schützen und dann sollen sie das Ziehen erleichtern und vor allen Dingen die Abnutzung der Düsen soweit als möglich vermindern. Beim Ziehen zeigt sich nämlich der große Übelstand, daß die Profile der Ziehsteine sich beim Durchgang des harten Wolframdrahtes sehr schnell erweitern und unrund werden, so daß die Steine nachgeschliffen werden müssen und dann nur für Drähte größeren Durchmessers verwendet werden können. Die Glühlampenfabrik von N. O. Philips in Eindhoven berichtet, daß das Profil sich je nach der gezogenen Drahtstärke auf beispielsweise 1000 m derart erweitert, daß das Metergewicht des Fadens um 25 bis 120 % zunimmt, und zwar ist die Abnutzung um so stärker, je dünner der zu ziehende Draht ist. Ein Wolframdraht, der nach dem Ziehen durch eine Diamantdüse am Vorderende 0,015 mm Durchmesser hat, ist trotz Verwendung von Schmiermitteln am Hinterende bereits 0,03 oder mehr mm stark. Auch treten an der Ziehlochwandung scharfe Kanten auf, welche Beschädigungen und Bruch des Drahtes verursachen.

Die wässerige kolloidale Lösung des Graphits kann nur durch Zusatz von Gerbsäure und Ammoniak beständig gemacht werden, während die Suspension in Öl viel stabiler ist. Die A. E. G. empfiehlt in ihrem D. R. P. 262 078 vom 2. Juli 1911 bei Anwendung der wässerigen Suspension einen Zusatz von 10% Ammonsulfid. Die Firma gibt daselbst eine Beschreibung für die Anwendung der Graphitschmiere. Die selbe wird in der Konsistenz einer dünnen Salbe im Überschuß auf einen Baumwollpropfen aufgetragen, durch welchen der Draht gezogen wird. Durch nachfolgendes Erhitzen wird der Graphit in den Draht eingebrannt. Die Firma hat auch sehr gute Ergebnisse erzielt, wenn der Draht rotglühend in das Schmiermittel eintritt.

Fein verteilter Graphit kann als Schmiermittel auch in Form einer Aufschlämmung in Seifenlösung verwendet werden.

Bei Verwendung des Schmiermittels in dünnflüssigem Zustand wird es in ein Gefäß gebracht, in welchem ein Schaufelrad umläuft, um das Absetzen des Graphits zu vermeiden. Das Schaufelrad ist an seiner Peripherie mit einer Rinne versehen, in welcher der Wolframdraht durch das Bad geführt wird.

Es ist noch eine ganze Reihe anderer Schmiermittel vorgeschlagen worden, welche hier nur kurz angeführt seien.

Die A. E. G. schlägt Wolframsulfid ( $WS_2$ ) vor, welches als feines, graphitähnliches, weiches Pulver dargestellt werden kann, oder eine von Aladar Pácz als Bindemittel für eine Wolframpaste verwendete kolloidale organische Wolframverbindung, welche man durch Fällen einer Ammonwolframatlösung mit Salzsäure und Gallusgerbsäure erhält. Durch Erhitzen des fertigen Drahtes im Vakuum oder in einer Wasserstoffatmosphäre lassen diese Verbindungen nur pulvelförmiges Wolfram auf den Drähten zurück. Die Deutsche Gasglühlicht-A.-G. hat als Schmiermittel solche anorganische Verbindungen vorgeschlagen<sup>1)</sup>, welche keinen eigent-

<sup>1)</sup> D. R. P. 261 457. vom 13. 8. 11.

lichen Schmelzpunkt besitzen, sondern innerhalb weiter Temperaturgrenzen — in diesen Grenzen erfolgt das Ziehen — zähe Flüssigkeiten darstellen. Solche Verbindungen sind Polyboräure und Polyphosphorsäure.

Die *Wolfram - Akt. - Ges.* hat sich ein Verfahren patentieren lassen<sup>1)</sup>), nach welchem das Thoriumoxydhydrat, welches beim Ausfällen von Thoriumsalzlösungen mit Basen als gallertartige Masse erhalten wird, zum Schmieren der Drähte verwendet wird. Diese Verbindung, welche den Draht beim Durchgang durch den Ziehstein unter dem Einfluß der Hitze leicht überzieht, soll den Graphitschmiermitteln in mechanischer Leistung nicht nachstehen. Unter reduzierten Bedingungen werden dann die Drähte in die reinmetallene Legierung übergeführt. Diesen Drähten sollen entsprechend den nach dem Thoriumdioxydspritzverfahren hergestellten Drähten hervorragende mechanische Eigenschaften zukommen.

Die *Westinghouse Metal Filament Lamp Cy. Ltd. in London* führt in einem Patent<sup>2)</sup> aus, daß die Graphitschmiere den Nachteil besitzt, daß der Graphit stets mineralische Verunreinigungen enthält, die das Drahtmaterial schädlich beeinflussen.

Dem Patente gemäß werden nun die Werkstücke vor ihrer mechanischen Bearbeitung oder zwischen deren einzelnen Phasen den Gasen oder Dämpfen solcher Stoffe ausgesetzt, die auf den Werkstücken Ablagerungen erzeugen, welche späterhin wieder restlos entfernt werden können. Durch die Verwendung von Gasen und Dämpfen soll eine vollkommene Reinheit gewährleistet sein, desgleichen ein gleichmäßiges Einhüllen der Werkstücke und ein wirtschaftlicher Verbrauch. In Betracht kommen in erster Linie Gase oder Dämpfe von Schwefel, Selen oder Tellur oder deren Verbindungen, wie z. B. Schwefelwasserstoff und die entsprechenden Verbindungen der anderen beiden Elemente. Das Ver-

<sup>1)</sup> D. R. P. 276 894 v. 16. April 1913.

<sup>2)</sup> D. R. P. 322 303 v. 26. April 1914.

fahren kann u. a. in der Weise durchgeführt werden, daß die Werkstücke durch den inneren Teil einer möglichst ausgebreiteten Flamme hindurchgezogen werden, die durch Verbrennen der genannten Gase an der Luft gebildet wird.

Es wurde bereits hervorgehoben, daß die Abnutzung der Ziehsteine beim Heißziehen von Wolframdrähten sehr geringen Durchmessers durch Verwendung von Schmiermitteln allein nicht hintangehalten werden kann. Eine Reihe von Patenten sucht diesen Übelstand nun auf anderem Wege zu beseitigen.

Die Bergmann-Elektrizitätswerke Akt.-Ges. in Berlin glaubt gemäß D. R. P. 257 093 vom Jahr 1912 ganz ohne besondere Schmiermittel auszukommen, indem sie die Ziehdüse in ein Ölbad bringt, welches auf 300 bis 400° erhitzt ist.

In dem D. R. P. 286 717 vom 21. April 1914 beschreibt dieselbe Firma ein Verfahren, nach welchem auch zur Erzielung sehr dünner Drähte nur Diamanten mit größerer Bohrung benutzt werden, indem mehrere Drähte zu einem Bündel zusammengefaßt dem Ziehprozeß unterworfen und hernach wieder auseinander genommen werden. Die Düsen werden dann noch ganz besonders dadurch geschützt, daß das Drahtbündel mit einer Hilfsmetallhülle aus Molybdän umkleidet wird. Statt eines Rohres als Umkleidung empfiehlt sich die Benutzung einer einfachen geschlitzten Hülse, da die Entfernung des Hilfsmetalls alsdann leicht auf mechanischem Wege durch Aufreißen des Schlitzes möglich ist.

Die Westinghouse Metallfaden-Glühlampenfabrik G. m. b. H. in Atzgersdorf bei Wien beschreibt in ihrem D. R. P. 302 767 vom 23. Dezember 1916 ein Verfahren, das Wolfram bei Rotglut zu bearbeiten. Eine Bearbeitung bei so niedrigen Temperaturen wurde bisher nicht durchgeführt, weil die Werkstücke alsdann zum Spalten und Brechen neigen. Diesen Übelstand weiß die Firma dadurch zu beheben, daß die Werkstücke zwischen einzelnen Bearbeitungsstufen Zwischenglühlungen ausgesetzt werden bei einer Temperatur, welche höher liegt als die Bearbeitungs-

temperatur. Die Temperatur dieser Zwischenglühungen kann je nach den Bemessungen und auch sonstigen Eigenschaften der Werkstücke gewählt werden. Als untere Grenze werden gewöhnlich  $1000^{\circ}\text{C}$  angenommen, die Glühtemperatur kann aber auch bis  $1300^{\circ}$  oder  $1600^{\circ}$  gesteigert werden.

Die Zwischenglühungen werden zweckmäßig in einer dem Wolfram gegenüber indifferenten Atmosphäre durchgeführt. Sie brauchen durchaus nicht lange zu währen, sondern man kann die Werkstücke auch sofort nach Erreichung der gewünschten Temperatur abkühlen lassen, um dann die Weiterbearbeitung bei Rotglut wieder aufzunehmen. Der Verschleiß der Werkzeuge wird auf diese Weise bedeutend herabgesetzt, und der Ausschuß soll nahezu gänzlich beseitigt werden. Das letztere wird jedoch nur der Fall sein, wenn die Zwischenglühungen mit großer Vorsicht ausgeführt werden, damit die Drähte infolge von Rekristallisationserscheinungen die erlangte Duktilität nicht wieder einbüßen.

Für die Bearbeitung insbesondere von Drähten noch geringeren Durchmessers als 0,020 mm kommen zwei weitere erschwerende Faktoren hinzu, nämlich die Herstellung so feiner Düsen von genau festgelegtem Kaliber und das sehr schwierige und zeitraubende Anspitzen und Einfädeln der Drähte. Man ist daher mehr und mehr von der mechanischen Herstellung so feiner Drähte abgekommen und hat es vorgezogen, die Drähte auf chemischem Wege dünner zu machen. Auf diese Verfahren wird im Anschluß an die Reinigung der Drähte näher eingegangen werden.

Die Ziehsteine werden, wie bereits hervorgehoben wurde, beim Ziehen sehr bald ausgeweitet und unrund. Die unrunden Steine müssen mit Hilfe von feinstem Diamantstaub, welcher mit Öl angerührt wird, auf Diamantpoliermaschinen nachgeschliffen werden. Diese Steine sind dann zum Ziehen stärkerer Drähte noch geeignet. Der Ziehsteinsatz muß aber stets durch neue Steine ergänzt werden. Die Aufrechterhaltung der richtigen Stufenfolge eines Satzes erfordert große Sorgfalt und Mühe und auch sehr erhebliche

Kosten, da stets eine große Anzahl von Ersatzsteinen vorrätig gehalten werden muß.

Da der Querschnitt der Stäbe bzw. Drähte größer ist als die Bohrung der Düse, durch welche sie gezogen werden sollen, müssen dieselben am Vorderende verjüngt werden. Das verjüngte Ende wird dann von Hand so weit durch die Düse geführt, daß die Ziehbacken das Ende fassen können.

Die vielen eingeschlagenen Verfahren zum Spitzen der Drähte haben alle gemeinsam eine Oxydation des Drahtendes mit nachfolgender Entfernung der Oxydschicht zum Ziel.

Die Drähte können in ein Gemisch von verdünnter Salpetersäure und Flußsäure eingetaucht werden. Die Julius Pintsch A.-G. oxydiert die Drahtenden sehr einfach durch hohes Erhitzen in einer nichtleuchtenden Bunsenbrennerflamme<sup>1)</sup>. Die Oxydschicht kann auf mechanischem Wege entfernt werden. Bei diesem Verfahren besteht jedoch die Gefahr, daß die Drähte infolge der hohen Erhitzung spröde werden, was um so mehr ins Gewicht fällt, als die Enden beim Ziehen stark beansprucht werden. Am besten scheint sich eine in dem Duktilisierungspatent der A. E. G. erwähnte Methode bewährt zu haben. Danach werden die stärkeren Drähte in geschmolzenes Kaliumnitrit eingetaucht. Die Oxydation erfolgt sehr schnell und gleichmäßig und die gebildete Oxydschicht wird sogleich aufgelöst. Schwächere Drähte werden elektrolytisch verjüngt, indem man die Enden als Anode in eine starke Lösung von Kaliumzyanid eintaucht.

Die Westinghouse Metal Filament Lamp Co. Ltd. in London hat sich ein Verfahren zum Anspitzen schützen lassen<sup>2)</sup>, nach welchem das Drahtende als Kathode gegenüber einer als Anode dienenden Metallplatte in einen Elektrolyten (verdünnte Schwefelsäure) eingebracht und durch einen stärkeren elektrischen Strom zum Erlühen gebracht wird. Bei einer Stromdichte von etwa 25 bis 30 Amp. auf

<sup>1)</sup> D. R. P. 251 836 vom 21. Nov. 1911.

<sup>2)</sup> D. R. P. 275 656 vom 28. April 1912.

den Quadratmillimeter ist das Anspitzen bereits nach einigen Sekunden beendet.

Der fertig gezogene Draht hat, bevor er zu Glühkörpern verarbeitet werden kann, noch eine Nachbehandlung durch Reinigen und Glühen zu erfahren. Die Drähte sind nämlich von einer sehr harten aus dem Schmiermittel entstandenen Hülle umgeben. Diese Kruste ist oft von nachteiliger Wirkung bei der Verwendung des Drahtes. Beispielsweise bilden sich bei der Herstellung von schraubenförmig gewundenen Leuchtkörpern an der Oberfläche der Drähte borstenartig abstehende Wolframteilchen aus. Die Drähte werden von der harten Kruste befreit, indem man sie elektrolytisch abätzt. Man führt den Draht als Anode geschaltet durch ein alkalisches Bad und führt irgendeine geeignete Kathode in die Elektrolysierflüssigkeit ein.

Ein verbessertes elektrolytisches Reinigungsverfahren ist Dr.-Ing. Siegfried Burgstaller und Dr.-Ing. Paul Schwarzkopf, Berlin, durch das D. R. P. 278 415 geschützt worden. In dem Patent wird ausgeführt, daß es bei den bisherigen Verfahren nur schwer gelingt, den Draht gleichmäßig unter Strom zu setzen, da die Hülle, die ihn umkleidet, nicht überall gleich stark ausgebildet ist und den Strom schlecht leitet. Beim neuen Verfahren wird nun der Draht beim Durchgang durch die Reinigungs- bzw. Verjüngungsbäder nicht direkt durch einen festen Leiter mit der Stromquelle verbunden und so zu einem Pol gestaltet, sondern man erteilt ihm die Rolle einer Zwischenelektrode. Dazu müssen mindestens zwei oder mehr Bäder verwendet werden. Das Verfahren sei zunächst für den Fall erörtert, daß nur zwei Bäder verwendet werden. Man führt alsdann in jedes Bad eine Elektrode ein und verbindet sie mit einer Stromquelle, so daß die eine Elektrode zur Anode und die andere zur Kathode wird. Wird nun der Wolframdraht durch beide Bäder hindurchgeschickt, so stellt dieser die leitende Verbindung zwischen beiden Elektroden her, wenn die Bäder mit einem Elektrolyten beschickt.

sind. Der Elektrolyt kann in beiden Gefäßen derselben oder auch verschiedener Natur sein. Zweckmäßig verwendet man eine alkalische Badflüssigkeit, damit die sich bildenden Wolframoxyde gelöst werden. Besonders praktisch erweist es sich, im ersten Bade, in welchem eine Oxydation stattfinden soll, eine alkalische Flüssigkeit zu verwenden und im zweiten Bad, in welchem die Reduktionswirkung eintreten soll, eine Säure, bzw. im ersten Bade eine alkalische Lösung, im zweiten etwas angesäuertes Wasser, damit das dem Draht anhaftende Alkali neutralisiert und abgewaschen wird. Ein praktisches Ausführungsbeispiel ist folgendes: Ein Wolframdraht wird, auf isolierten Rollen laufend, zunächst in ein Gefäß eingeführt, das mit verdünnter Kalilauge gefüllt ist und sodann, wieder über isolierte Rollen laufend, in ein Bad, das mit etwas Schwefelsäure angesäuertes Wasser enthält. In das erste Gefäß taucht eine Elektrode, z. B. aus Eisen, in das andere eine Elektrode, z. B. aus Platin. Verbindet man die Eisen- und die Platinelektrode mit einer Stromquelle, so stellt der Draht die leitende Verbindung zwischen den beiden Gefäßen bzw. den beiden Elektroden her, wobei das Stück des Drahtes in dem mit Kalilauge gefüllten Gefäß als Gegenpol zu der Eisenelektrode, das Stück des Drahtes in dem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Bade als Gegenpol zu der Platinelektrode wirkt. In beiden Gefäßen findet eine Zersetzung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff statt, wobei sich der erstere an der Kathode, der letztere an der Anode abscheidet. Die Anordnung gibt nun das gewünschte Ergebnis, wenn man die als Beispiel gewählte Eisenelektrode in dem ersten Gefäß als Kathode an die Stromquelle anschließt, die Platinelektrode im zweiten Bade als Anode. Dann wirkt nämlich der Draht, solange er sich in Kalilauge befindet, als Anode, an der sich Sauerstoff abscheidet und oxydierend wirkt, während er beim Eintritt in das zweite Bad der Platinanode gegenüber zur Kathode wird, an welcher sich nunmehr Wasserstoff abscheidet und seine reduzierende Wirkung ausübt. Dieses Verfahren wird nach

Maßgabe des gewünschten Erfolges wiederholt, indem man eine größere Anzahl von Bädern hintereinander schaltet. Zweckmäßig werden die Bäder paarweise derart angeordnet, daß der Draht bei seinem Durchgang in jedem ersten Bade als Anode, in jedem zweiten als Kathode dient und bei jedem Paar von Bädern das erste mit der alkalischen und das zweite mit der sauren Elektrolysierflüssigkeit beschickt wird. Als dann zeigt es sich, daß — vermutlich infolge des Wechsels zwischen Oxydations- und Reduktionsprozessen — die von den Verunreinigungen gebildete Kruste sehr rasch und gleichmäßig aufgelockert wird, so daß sie sich, wenn man den Draht während eines jeden Arbeitsganges oder anschließend daran noch zwischen Filz- oder Lederläppchen oder anderen passenden Abstreifmitteln hindurchschickt, vollkommen gleichmäßig entfernen läßt.

Eine Wiederholung des Verfahrens nach Beseitigung der verunreinigenden Hülle gestattet eine sehr ebenmäßige und einwandfreie Querschnittverringerung der Drähte, auf deren Bedeutung bereits oben hingewiesen worden ist.

Dr. O. Kruh<sup>1)</sup> hat durch elektrolytisches Ätzen gereinigte Drähte vor und nach dem Glühen auf ihr spez. Gewicht untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 wiedergegeben.

T a b e l l e 12.

Nicht geäglüht			Geäglüht		
Durchmesser mm	Gewicht mg	Spez. Gewicht	Durchmesser mm	Gewicht mg	Spez. Gewicht
0,026	9,00	17,99	0,024	7,75	18,14
0,032	13,50	17,88	0,033	12,50	18,92
0,038	18,25	17,12	0,036	14,50	18,35
0,056	40,25	17,33	0,054	40,25	18,56
0,080	97,00	20,47	0,080	96,00	20,30
0,102	148,50	19,28	0,102	148,50	19,28

<sup>1)</sup> E. u. M. Wien, XXXIV. Jahrg. S. 89 u. f.

Vergleicht man die Tabelle mit Tabelle 10, so sieht man, daß die spez. Gewichte des nicht geglühten, geätzten Drahtes wesentlich höher als die des gereinigten Drahtes sind, während der geglühte geätzte Draht ungefähr dasselbe spez. Gewicht besitzt, wie der gereinigte, geglühte Draht.

Bevor man die Drähte zu Glühkörpern verarbeitet, werden sie zweckmäßig in reduzierender Atmosphäre bei etwa  $1000^{\circ}\text{C}$  kurz ausgeglüht, um die an der Oberfläche gebildeten Oxyde zu zerstören.

## 5. Die Abmessungen des Glühkörpers in den elektrischen Lampen.

Nehmen wir an, wir würden vor die Aufgabe gestellt, eine Lampe zu konstruieren für 50 Kerzen und 110 Volt. Wie muß der zu verwendende Draht dimensioniert sein?

Wie bereits im ersten Teil dargelegt wurde, haben wir es in der Hand, die Lampen so hoch zu beladen, daß die Lichtausbeute einerseits und die Nutzbrenndauer andererseits einen befriedigenden Wert annehmen. Auf Grund praktischer Erfahrungen hat man für obige Lampe unter Verwendung von Wolframdraht die Nutzbrenndauer bei einer Belastung von 1,0 W/HK als hinlänglich erachtet. Legen wir diese zu Grunde, so erfordert unsere 50kerzige Lampe eine Energie von 50 Watt. Da aber Watt = Volt  $\times$  Ampere ist, muß

durch den Leuchtdraht ein Strom von  $\frac{50}{110} = 0,455$  Amp. geschickt werden. Nach dem Ohmschen Gesetz  $R = \frac{E}{J}$  berechnet sich sodann der elektrische Widerstand des Drahtes

zu  $\frac{110}{0,455} = 242$  Ohm. Einen Wolframdraht von diesem

Widerstand zu konstruieren, bieten sich unendlich viele Möglichkeiten. Da der Widerstand eines Drahtes der Länge direkt und dem Querschnitt umgekehrt proportional ist, können wir einen Draht beliebiger Länge wählen, wenn nur

sein Querschnitt ebenfalls entsprechend bemessen ist. Jeder einzelne dieser vielen Drähte verbraucht bei einer Spannungsdifferenz von 110 Volt an seinen Enden 50 Watt elektrische Energie und verwandelt sie restlos in Wärme und Licht.

Nun ist aber weiter die Frage, wie es mit der Verteilung von Wärme und Licht steht, wenn uns der Draht die ganz bestimmte Lichtmenge von 1 HK pro Watt liefert. Wie im ersten Teil dargelegt wurde, ist die Lichtausbeute um so günstiger, je höher die Temperatur ist. Eine bestimmte Energiemenge wird nun einen Körper auf eine um so höhere Temperatur bringen, je kleiner derselbe ist. Daraus folgt, daß zur Erzielung einer gegebenen Lichtausbeute ein Körper kreisförmigen Querschnitts von ganz bestimmter Oberfläche benötigt wird. Rechnerisch läßt sich sehr leicht nachweisen, daß nur ein einziger Draht bei bestimmter Oberflächenausdehnung einen bestimmten Widerstand haben kann, oder mit anderen Worten, bei einem bestimmten Energieaufwand eine bestimmte Lichtmenge aussendet.

Die Abmessungen des zu verwendenden Drahtes sind außer anderen Faktoren in erster Linie abhängig von dem spezifischen Gewicht und dem spezifischen Widerstand des Drahtes, also von der Beschaffenheit des Materials. Zur Ermittelung der Dimensionen geht man vielfach rein empirisch vor, indem man Lampen mit Glühkörpern verschiedener Abmessungen photometrischen Messungen unterzieht (vgl. S. 192 u. f.). Stellt man die gefundenen Werte (Durchmesser und Länge, Anzahl der Kerzen, Volt und Ampere, bei dem gewünschten Wattverbrauch pro Kerze) in einer Kartothek zusammen, so kann man mit ihrer Hilfe die gewünschten Lampen konstruieren.

Eleganter und zweckmäßiger ist es, auf rechnerischem Wege vorzugehen. Dr. O. Kruh hat in dankenswerter Weise die nötigen Formeln hergeleitet und zahlreiche experimentelle Untersuchungen angestellt, auf Grund derer die Berechnungen vorgenommen werden kön-

nen. Wir folgen nunmehr im wesentlichen seinen Darlegungen<sup>1)</sup>:

Zunächst müssen wir eine photometrische Messung an einer Lampe vornehmen, welche gleiches Material und gleichen spez. Wattverbrauch aufweist, wie die zu berechnende Lampe und die Dimensionen dieses einen Glühkörpers kennen. Die Abmessungen der Glühkörper sämtlicher anderer Lampen von beliebiger Type lassen sich sodann berechnen.

Sind  $d_1$  und  $i_1$  Durchmesser bzw. Stromstärke der bekannten Lampe und  $d_2$  und  $i_2$  die entsprechenden Werte der zu berechnenden Lampe, so ist

$$d_2 = d_1 \left( \frac{i_2}{i_1} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

Beispiel 1:

Bekannt sei eine Lampe, welche bei 110,5 Volt 27,9 Kerzen ausstrahlt und 1 Watt pro Kerze verbraucht. Durchmesser, Stromstärke und Drahtlänge sind:

$$d_{25} = 0,03 \text{ mm}; \quad i_{25} = 0,252 \text{ Ampere}; \quad l_{25} = 512 \text{ mm}.$$

Gesucht werde eine Lampe von 32,8 Kerzen bei 110 Volt und gleichem spezifischem Wattverbrauch. Die gesuchte Lampe verbraucht demnach 32,8 Watt. Die Stromstärke der Lampe berechnet sich zu:

$$i_{32} = 0,298 \text{ Ampere.}$$

In Gleichung (1) eingesetzt ergibt sich

$$d_2 = 0,03 \cdot \left( \frac{0,298}{0,252} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,0355 \text{ mm.}$$

Das Messen derart feiner Durchmesser macht bedeutende Schwierigkeiten. Man kann ein Mikroskop dazu verwenden, was sich jedoch für die Fabrikation wenig empfiehlt. Man bestimmt vielmehr das Gewicht eines Drahtes von bekannt-

<sup>1)</sup> Dr. O. Kruh, Zur Konstruktion und Berechnung des Leuchtkörpers einer Glühlampe. *Z. f. Elektrotechnik und Maschinenbau*, Wien, 1916, XXXIV. Jahrg., S. 89 u. f.

<sup>2)</sup> Was die Ableitung der angeführten Formeln anbelangt, so muß auf die Originalabhandlung verwiesen werden.

ter Länge und berechnet das Gewicht des gesuchten Drahtes mit Hilfe der Beziehung

$$\frac{G_1}{G_2} = \left( \frac{i_1}{i_2} \right)^{\frac{4}{3}} \quad (2)$$

wobei  $G_1$  und  $G_2$  die Gewichte der Drähte in mg pro Meter Länge bedeuten.

Im vorigen Beispiel wiegt ein Faden von 1000 mm Länge und 0,03 mm Durchmesser 15 mg; somit berechnet sich ein Faden für eine 32kerzige Lampe zu 18,68 mg, während man erfahrungsgemäß 18 mg findet.

Da die Gewichte ziemlich klein sind, so werden außerordentlich feine Torsionswagen verwendet, die ein Abwagen bis zu 0,05 mg gestatten.

Abb. 43 und 44 zeigen eine Torsionswage der Hartmann & Braun A.-G., Frankfurt a. M. Der Wagebalken  $w$  mit dem Zeiger  $b$  ist an einer in Edelsteinen gelagerten Stahlachse  $a$  befestigt. Im übrigen geht die Konstruktion genügend aus den Abbildungen hervor.

Die Gleichungen (1) und (2) haben nur Geltung, wenn die Glühkörper im Durchmesser nicht viel voneinander abweichen und eine ähnliche Konstruktion aufweisen. Will man aber etwa von den gegebenen Dimensionen einer 32kerzigen Lampe diejenigen einer 100- oder 200kerzigen Lampe berechnen, so hat man statt der Exponenten  $\frac{2}{3}$  und  $\frac{4}{3}$  die experimentellen Exponenten 0,7 bzw. 1,37 einzusetzen und erhält die Gleichungen:

$$d_2 = d_1 \left( \frac{i_2}{i_1} \right)^{0,7} \quad (1a)$$

$$G_2 = G_1 \left( \frac{i_2}{i_1} \right)^{1,37} \quad (2a)$$

Bei Berechnung einer 200kerzigen Lampe aus einer 100kerzigen dagegen hat man wieder die Exponenten der Gleichungen (1) und (2) zu benutzen. Dieser Umstand deutet darauf hin, daß beim hohen Vakuum der Glühlampe der absolute Wert des Vakuums auf die Ableitung der Wärme von Einfluß ist,

die ihrerseits vom Durchmesser des Fadens abhängt. Bei Durchmessern ähnlicher Größenordnung ist die Abkühlung

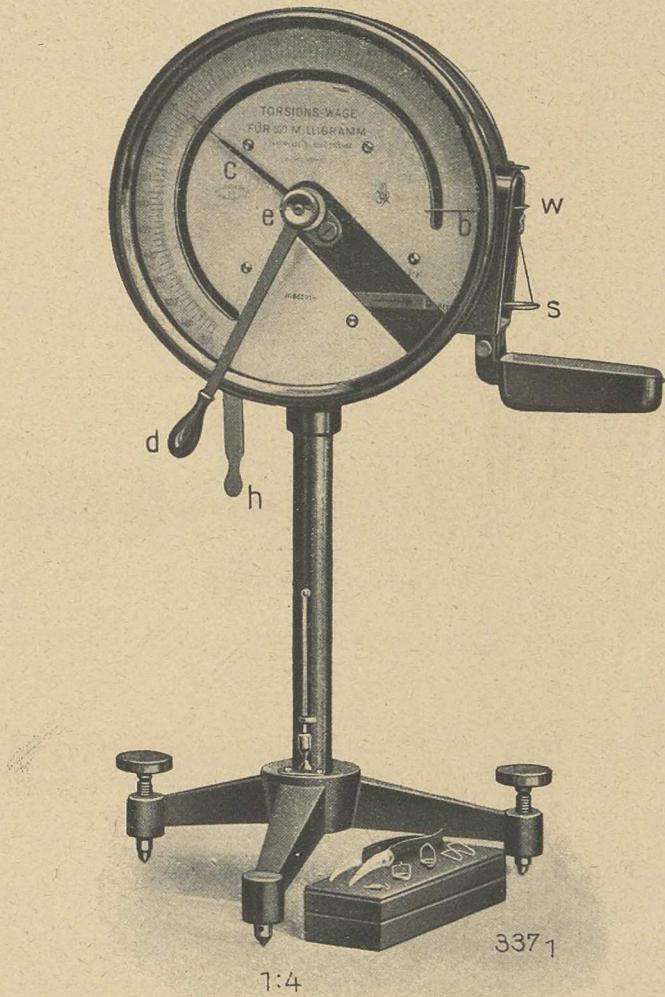


Abb. 43.

dieselbe und der Exponent ist der theoretisch abgeleitete. Liegen die Durchmesser weit auseinander, so sind die Ab-

kühlungsverhältnisse verschieden, in welchem Falle man den experimentellen Exponenten benutzen muß. Abb. 45 gibt die Beziehung zwischen Durchmesser, Strom und Gewicht von Drähten für 1,1 Watt pro Kerze. Aus dem Diagramm lassen sich also bei bekanntem Gewicht Stromstärke und Durchmesser direkt ablesen.

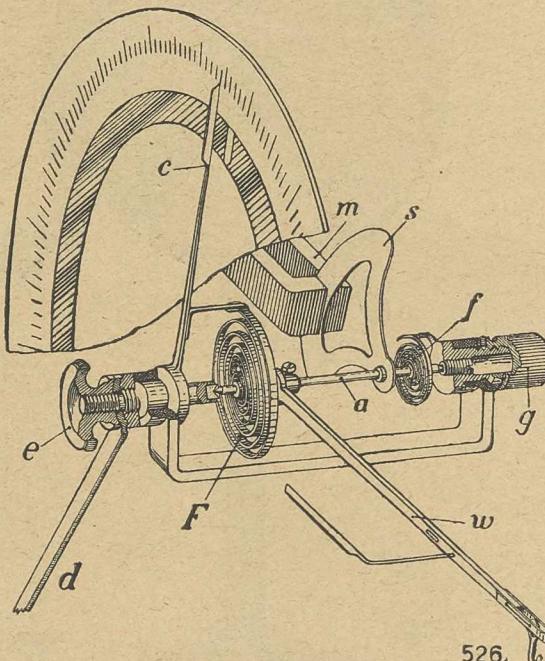


Abb. 44.

Fortsetzung von Beispiel 1:

Hat man den Durchmesser gefunden, so läßt sich die Länge wie folgt berechnen:

Da für die Berechnung die Voraussetzung gemacht wurde, daß die Drähte pro  $\text{mm}^2$  leuchtender Oberfläche die gleiche Lichtmenge bei gleichem Wattverbrauch ausstrahlen, müssen sich auch die ganzen Oberflächen verhalten wie die gesamte ausgestrahlte Lichtmenge. Es ist also

$$\frac{O_{32}}{O_{25}} = \frac{32,8 \text{ Kerzen}}{27,9 \text{ Kerzen}}$$

$O_{25}$  ergibt sich aus der Formel

$$O = d \pi l = 0,03 \cdot 3,1416 \cdot 0,015 \cdot 512 = 48,4 \text{ mm}^2.$$

Dann ist

$$O_{32} = 48,4 \cdot \frac{32,8}{27,9} = 57 \text{ mm}^2.$$

Die Länge wird dann nach der Formel

$$l = \frac{O}{d \pi} \quad (3)$$

berechnet. Es ergibt sich  $l_2 = 536$  mm. Gefunden wurden

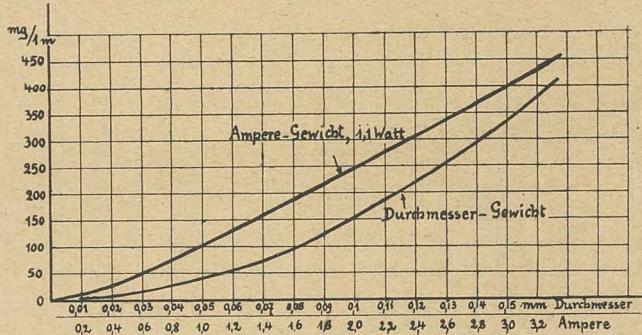


Abb. 45.

534 mm. Das bedeutet also eine tadellose Übereinstimmung von Experiment und Rechnung.

Die vorstehenden Gleichungen können zur Berechnung von Glühkörpern aus beliebigem Material verwendet werden, wie Tantal, Platin, Kohle oder Wolfram, da sie immer voraussetzen, daß eine Messung an einer Lampe von gleichem Material bei gleichem Wattverbrauch bereits gemacht wurde, wobei die Dimensionen des einen Glühkörpers bekannt sind.

In den Gleichungen sind die Größen: spezifischer Widerstand, spezifisches Gewicht nicht vorhanden, da die Voraussetzung gemacht wird, daß die Beziehungen zwischen spezifischem Widerstand, spezifischem Gewicht, Durchmesser und

Gewicht konstante Größen sind. Dieses ist jedoch nicht immer ganz zutreffend; die Abweichungen sind zum Teil bedingt durch kleine Verschiedenheiten in der Zusammensetzung des Wolframglühkörpers, welchem ja geringe Mengen von hochschmelzenden Oxyden zugesetzt werden. Andererseits ist auch der mechanische Zustand des Drahtes nach dem Glühen von Wichtigkeit, wie aus den Tabellen 10 und 12 zu ersehen ist. Doch ist der Fehler bei Nichtberücksichtigung des Schwankens der Konstanten des Wolframdrahtes nicht groß, so daß obige Rechnung mit gutem Erfolge angewandt werden kann.

Nunmehr kommen wir zu einer weiteren Komplikation der Berechnung.

Man hat erfahrungsgemäß gefunden, daß Lampen mit feineren Drähten bei gleichem spezifischen Wattverbrauch eine kürzere Lebensdauer aufweisen als Lampen mit stärkeren Leuchtdrähten. Das hat man sich folgendermaßen zu erklären:

Bei dem hohen Vakuum der Glühlampen ist die Wärmeleitfähigkeit nicht mehr unabhängig vom Gasdruck; sie steigt mit fallendem Durchmesser der Lampe. Um nun in den kleineren Lampen trotz des Energieverlustes die gleichen Hefnerkerzen pro Watt zu erhalten als in großen Lampen, muß man die Temperatur des Glühfadens erhöhen, was natürlich eine Verkürzung der Lebensdauer unmittelbar zur Folge haben muß. Ein weiterer Grund liegt in der größeren Empfindlichkeit der feinen Drähte, indem an schadhaften Stellen eine fühlbare Temperaturerhöhung eintritt. Ein dritter Grund ist in dem schnelleren Destillieren der Beimischungen von Oxyden zu suchen, da dadurch eine schnellere Rekristallisation und dementsprechend stellenweise eine Änderung des Durchmessers des Fadens stattfindet. Endlich ist noch zu berücksichtigen, daß die Anzahl der abkühlenden Stützungen pro Längeneinheit des Leuchtdrahtes bei schwächerzigen Lampen größer ist als bei starkkerzigen. Infolge dieser Umstände war man gezwungen, den spezifischen Watt-

verbrauch für kleinerzige Lampen hinaufzusetzen, um eine Brenndauer von etwa 1000 Stunden zu erhalten. In Tabelle 13 ist der spezifische Wattverbrauch von Lampen verschiedener Kerzenstärken wiedergegeben, wie sie im allgemeinen in Europa und Amerika üblich sind.

T a b e l l e 13.

Europäische Typen			Amerikanische Typen		
Volt	Kerzen	W/NK	Volt	Watt	W/NK
110	10	1,15	110	10	1,33
110	16	1,10	110	15	1,10
110	25	1,05	110	20	1,04
110	32	1,05	110	25	1,01
110	40	1,00	110	40	0,98
110	50	1,00	110	60	0,95
110	75	0,95	110	100	0,91
110	100 u. dar- über	0,90	110	150	0,80
220	10	1,25	110	250	0,80
220	16	1,20	110	400	0,80
220	25	1,15	110	500	0,80
220	32	1,10			
220	40	1,05			
220	50	1,05			
220	75	1,00			
220	100 u. dar- über	0,95			

Für den Lampenkonstrukteur ergibt sich nun die Schwierigkeit des Übergangs von einem Wattverbrauch auf den anderen, da die vorher verwendeten Formeln nur für gleiche Temperaturen angewendet werden dürfen. Um diesen Übergang zu ermöglichen, hat Dr. O. Kruh auf Grund einer Reihe von Messungen an Lampen von 10 bis 200 Kerzen die Änderung der spezifischen Helligkeit, d. h. der ausgestrahlten Kerzen pro  $\text{mm}^2$  Oberfläche mit dem Wattverbrauch bestimmt (Tabelle 14).

Die Messungen beziehen sich auf die horizontale Lichtstärke. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei weitem nicht die

T a b e l l e 14.  
Mittlere Kerzen pro  $\text{mm}^2$  strahlender Oberfläche.

Type	Wattverbrauch pro Kerze										
	4,00	3,00	2,00	1,50	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80
110/10	0,197	0,310	0,592	0,951	1,100	1,274	1,455	1,653	1,980	2,366	2,869
110/16	0,165	0,282	0,535	0,871	0,999	1,148	1,345	1,521	1,789	2,148	2,650
110/25	0,183	0,290	0,563	0,901	1,003	1,165	1,331	1,568	1,834	2,195	2,710
110/32	0,176	0,293	0,572	0,893	0,991	1,126	1,315	1,494	1,759	2,151	2,708
110/100	0,170	0,266	0,503	0,827	0,940	1,060	1,203	1,399	1,647	1,966	2,395
110/200	0,170	0,272	0,515	0,818	0,946	1,058	1,204	1,397	1,687	2,054	2,472

gesamte Oberfläche des Leuchtdrahtes wirksam ist, sondern lediglich die Projektion derselben auf eine zur Blickrichtung senkrechten, der Photometerebene parallelen Ebene. Zunächst kommt für die Strahlung also lediglich die Fläche aus Durchmesser  $\times$  Länge des Leuchtdrahtes für die Strahlung in Betracht. Ferner weist die wirksame Leuchtlänge gegenüber der wahren Leuchtlänge insofern eine Differenz auf, als alle diejenigen Drahtabschnitte, welche zur Projektions-ebene nicht parallel laufen, bei der Projektion eine Verkürzung erfahren.

Die in der Tabelle 14 angeführten Zahlen wurden erhalten durch Division der photometrisch gemessenen horizontalen Kerzenstärken durch das Produkt aus Durchmesser und wirksamer Leuchtlänge unter Berücksichtigung, daß die wirksame Leuchtlänge bei den verschiedenen Lampentypen von der wahren Leuchtlänge verschieden abweicht. Die nachstehende Tabelle 15 gibt das durchschnittliche Verhältnis der wirksamen Leuchtlänge zur wahren Leuchtlänge in % wieder.

T a b e l l e 15.

Type	110/10	110/16	110/25	110/32	110/100	110/200
$\frac{l'_h}{l}$ in %	99,00	99,25	99,25	99,25	99,5	99,5

Die gemessenen Werte sind nicht erhalten worden aus Lampen, die marktgängig sind; die Differenzen wären größer geworden, als die Tabelle sie anzeigt. Die Abkühlung des Fadens durch den Halter spielt eine große Rolle. Je dicker der Halter im Verhältnis zum Leuchtdraht ist, desto mehr muß der Faden überlastet werden, um die Abkühlung wettzumachen; der Wert  $\frac{\text{Kerzen}}{\text{mm}^2}$  muß dann steigen. Das Ver-

hältnis des Leuchtdrahtdurchmessers zu demjenigen des Häckchendrahtdurchmessers wurde durchgehend gleich 1 : 3 gesetzt, ein Wert, der in der Technik nur bei niedrigkerzigen Lampen üblich ist, bei höherkerzigen dagegen auf 1 : 2 steigt.

Infolge der Überlastung der dünneren Drähte findet man im allgemeinen drei verschiedene Werte für die mittleren Kerzen pro  $\text{mm}^2$  strahlender Oberfläche. Die eine Klasse bildet die Type 110/10, die zweite die Typen 110/16, 110/25, 110/32 und die dritte die Typen 110/100 und 110/200.

Ist uns die Gesamtlichtabgabe und die pro Flächeneinheit ausgestrahlte Lichtmenge eines Glühkörpers bekannt, so können wir daraus seine Oberfläche bestimmen. Sucht man z. B. eine 25kerzige Lampe von einem spezifischen Wattverbrauch von 1 Watt pro Kerze, so ist

$$O_h = \frac{25}{1,834} = 13,69 \text{ mm}^2,$$

wobei  $O_h$  die horizontal wirksame Leuchtfläche bedeutet und die Zahl 1,834 die aus der Tabelle zu entnehmenden Kerzen pro  $\text{mm}^2$  angibt.

Als letztes bleibt bei der Berechnung einer Lampe zu berücksichtigen, daß wir durch die gegebene Spannung an eine bestimmte Stromstärke gebunden sind. Diese ändert sich aber mit dem spezifischen Wattverbrauch in dem Sinne, daß die Stromstärke um so höher wird, je höher der Draht erhitzt ist. Tabelle 16 gibt uns die prozentuale Änderung der Stromstärke mit dem spezifischen Wattverbrauch, bezogen auf die gleich 100 gesetzte Stromstärke einer Lampe von 1,1 W/HK.

T a b e l l e 16.  
Ampere bei 1,1 W/HK = 100.

Type	W a t t v e r b r a u c h										
	4,0	3,0	2,0	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	08,
110/10	74,27	76,37	86,14	87,50	93,26	96,33	97,98	100,—	103,15	105,51	109,02
110/16	71,24	76,98	84,04	90,62	93,37	95,40	96,80	100,—	102,63	105,62	108,91
110/25	72,16	76,93	84,94	91,07	93,35	94,56	96,88	100,—	102,08	104,97	109,01
110/32	72,78	77,36	87,58	92,52	94,41	95,99	98,54	100,—	102,81	106,24	110,74
110/100	73,85	78,14	85,21	92,29	94,32	95,93	97,33	100,—	102,25	104,82	107,82
110/200	74,18	79,44	86,45	92,26	94,24	96,22	97,87	100,—	103,55	106,78	109,77
Im Mittel	73,08	77,53	85,725	91,104	93,82	95,73	97,56	100,—	102,74	105,59	109,21

Ist die Lampe mit 1,1 Watt herzustellen, so kann man den Durchmesser des Leuchtdrahtes aus dem Diagramm der Abb. 45 ablesen. Für andere Werte des Wattverbrauches verfährt man in der Weise, daß man eine Reduktion auf die normale Stromstärke bei 1,1 Watt pro Kerze vornimmt und den entsprechenden Durchmesser dazu sucht. Ein Rechenbeispiel wird die Sache leicht verständlich machen.

#### B e i s p i e l 2:

Berechnung einer 100kerzigen Lampe.

Gegeben seien folgende Angaben: Die Lampe habe 100 Volt; 96,4 Kerzen und verbrauche 1 Watt pro Kerze.

Bekannt sei eine 32kerzige Lampe für 100 Volt, und zwar ist

$$d_{32} = 0,035 \text{ mm}$$

$$i_{32} = 0,2995 \text{ Amp.}$$

$$J_{h32} = 32,9 \text{ Kerzen.}$$

Aus den Angaben über spezifischen Wattverbrauch, Kerzen und Spannung der 100kerzigen Lampe berechnet sich die Stromstärke zu  $i_{100} = 0,964 \text{ Amp.}$

Jetzt können wir den Durchmesser berechnen und benutzen dabei die Gleichung (1a), weil die Durchmesser weit auseinander liegen. Wir erhalten dann:

$$d_{100} = 0,0795 \text{ mm}$$

gefunden  $d_{100} = 0,08 \text{ mm.}$

Aus der Tabelle 14 ersieht man für eine 100kerzige Lampe eine spezifische Helligkeit von 1,647 Kerzen pro mm<sup>2</sup>. Die horizontal wirksame Leuchtfläche ist somit

$$O_h = \frac{96,4}{1,647} = 58,6 \text{ mm}^2.$$

Daraus findet man:

$$l' = \frac{O_h}{d} = \frac{58,6}{0,0795} = 737 \text{ mm.}$$

In Tabelle 15 findet man für eine 100kerzige Lampe

$$\frac{l'}{l} = 0,995$$

somit ist  $l = \frac{736}{0,995} \cong 740 \text{ mm}$

gefunden  $l = 732 \text{ mm.}$

### Beispiel 3:

Berechnung einer Lampe von 106,5 Volt; 24,2 Kerzen, 1,1 Watt pro Kerze. Bekannt sei die im vorigen Beispiel angeführte 32kerzige Lampe.

Bevor wir Gleichung (1) zur Berechnung der Durchmesser benutzen können, müssen wir die Stromstärke der 32kerzigen Lampe auf 1,1 W/HK umrechnen.

Mit Hilfe der Tabelle 16 haben wir das Verhältnis

$$i_{32} : 0,2995 = 100 : 102,74$$

somit

$$i_{32} = \frac{100 \cdot 0,2995}{102,74} = 0,2915 \text{ Amp.}$$

Aus diesem Werte für die Stromstärke der 32kerzigen Lampe und den Angaben über die 25kerzige Lampe berechnet sich mit

$$i_{25} = \frac{24,2 \cdot 1,1}{106,5} = 0,25 \text{ Amp.}$$

nach Gleichung (1)

$$d_{25} = d_{32} \cdot \left( \frac{i_{32}}{i_{25}} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,035 \cdot \left( \frac{0,25}{0,2915} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,0316 \text{ mm}$$

gefunden  $d_{25} = 0,030 \text{ mm.}$

Die wirksame Leuchtfäche der 24,2 kerzigen Lampe erhalten wir unter Benutzung des aus Tabelle 14 interpolierten Wertes 1,564 HK/mm<sup>2</sup> zu

$$O_h = \frac{24,2}{1,564} \cong 15,48 \text{ qmm}$$

und aus  $O_h = d_{24,2} \cdot l'_{h}$  die wirksame Fadenlänge  $l'_{h} = \frac{O_h}{d_{24,2}} = \frac{15,48}{0,0316} = 490 \text{ mm.}$

Nach Tabelle 15 ist  $\frac{l'_{h}}{l} = 0,9925$ , woraus sich die wirkliche Fadenlänge ergibt zu

$$l = \frac{h'_{h}}{0,9925} = \frac{490}{0,9926} = 494 \text{ mm.}$$

Gefunden wurde  $l = 512 \text{ mm.}$

## 6. Die Herstellung von schraubenförmig gewundenen Leuchtdrähten.

Die Drahtschrauben, wie sie in den Vakuumspiraldrahtlampen und den gasgefüllten Lampen gebraucht werden, kann man nach verschiedenen Methoden herstellen.

Man kann beispielsweise den feinen Leuchtdraht um einen Dorn von passender Stärke wickeln, von welchem die Windungen ständig weiterbefördert werden, um den Dorn für die nächsten Windungen frei zu machen. Die bei diesem Verfahren entstehenden Spiralen weisen aber im allgemeinen nicht die gleichmäßige Beschaffenheit auf, wie sie unbedingt gefordert werden muß, wenn man auf dem Wege der Massenfabrikation brauchbare Lampen von stets gleichem Widerstand herstellen will.

Gleichmäßiger Drahtschrauben werden nach einem anderen Verfahren erhalten, welches heute allgemein geübt wird: Man bedient sich eines fortlaufenden Dorndrahtes aus Kupfer oder Stahl als Seele zur Aufnahme der auf ihm nebeneinanderliegenden Windungen des Leuchtdrahtes. Ist die Bewicklung beendet, so wird der Dorndraht mit Hilfe einer geeigneten Säure (für Kupfer Salpetersäure; für Stahl auch andere Mineralsäuren) herausgelöst. Die zarte Wolframdrahtspirale bleibt dabei unangegriffen.

An anderer Stelle wurde schon hervorgehoben, daß es wünschenswert sei, daß die Drahtschrauben an den Stellen, an welchen der Leuchtdraht von den Fadenstützen getragen wird, durch gerade Zwischenstücke verbunden sind. Sollen Drähte für mehrere Lampen in einem Stück gefertigt werden, so müssen die Windungen, an denen der Leuchtdraht mit den Stromzuführungsdrähten verbunden wird, steiler gewickelt sein. Diese Zwischenstücke oder Unterbrechungen können an den fertigen Schrauben durch Auseinanderziehen einzelner Windungen von Hand unter Zuhilfenahme eines erhitzten Drahtes o. dgl. erzeugt werden. Das erfordert aber eine nicht immer vorhandene sichere Hand und verteuert die Herstellung durch die Handarbeit recht erheblich. Außerdem besteht immer noch die Gefahr, daß die Leuchtdrähte in den einzelnen Partien recht ungleichmäßig ausfallen.

Deshalb hat man eine Reihe von Maschinen konstruiert, welche den Leuchtdraht in den gewünschten Verhältnissen vollständig mechanisch herstellen und keine weitere Bedienung erfordern, als die rechtzeitige Abnahme des fertig gewickelten Drahtes und die Aufgabe neuen Dorn- und Wickeldrahtes.

Im folgenden sollen drei verschiedene Ausführungen dieser Maschinen beschrieben werden. Bei der ersten in Abb. 46 in Aufriß und Querschnitt dargestellten Maschine rotiert der gespannte Dorndraht um seine Längsachse und bewickelt sich selbst mit dem an ihm entlang geführten

Leuchtdraht; bei den beiden anderen Maschinen (Abb. 47 und 49) wird der Dorndraht ohne zu rotieren durch die Maschine gezogen, während gleichzeitig der Leuchtdraht um ihn herumläuft.

Die Abb. 47 ist der Patentschrift Nr. 294 326 vom 1. Juni 1915 entnommen und zeigt den Ausführungsgedanken von A. Urbanitschisch, Wien in schematischer Darstellungsweise.

Die Maschine wird angetrieben durch Vermittlung der Antriebsscheibe *a*, welche die hohle Welle *b* dreht. Auf der hohlen Welle sitzt ein fester Kupplungsteil *k* und das erste

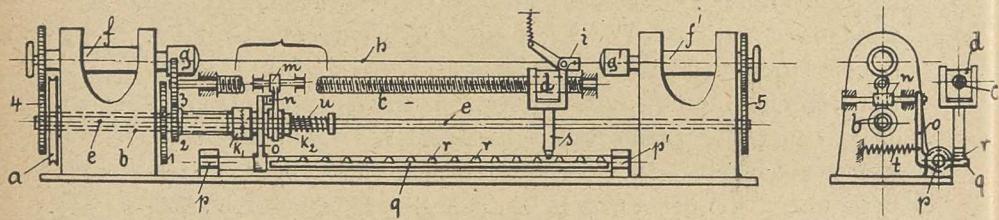


Abb. 46.

Rad einer Zahnradübersetzung 1, 2, 3, welche die Leitspindel gleichförmig dreht und die Mutter *d* je nach der Drehrichtung auf der Spindel nach links oder rechts verschiebt.

Der auf der hohlen Welle *b* sitzende feste Kupplungsteil *k* steht mit dem achsial verschiebbaren *k*<sub>2</sub> in Eingriff und nimmt die durch die hohle Antriebswelle *b* hindurchgehende volle Welle *c* mit. Die auf dieser sitzenden Zahnräder, vier auf der einen und fünf auf der anderen Seite, treiben die Wellen *f* und *f'* mit genau übereinstimmender Winkelgeschwindigkeit an, so daß der in den Wellenköpfen *g* und *g'* eingespannte Dorndraht *h* ohne innere Verdrehung um seine Längsachse rotiert. Indem der Dorndraht rotiert, bewickelt er sich mit dem feinen Leuchtdraht, welcher durch ein an der Mutter *d* befindliches Führungsorgan *i* hindurchgeht. Die hierbei entstehenden Windungen legen sich solange ununterbrochen nebeneinander auf den Dorndraht, wie dieser rotiert. Hört

aber die Rotation auf kürzere oder längere Zeit auf, so wird das Aufwickeln des Leuchtdrahtes unterbrochen, und das Fortschreiten der Mutter  $d$  bewirkt eine der Rotationsunterbrechung entsprechende windungslose Abgabe des Leuchtdrahtes.

Um diese Unterbrechungen herbeizuführen, braucht nur die Kupplung der hohlen Welle  $b$  mit der festen Welle  $e$  ausgerückt zu werden. Geschieht dies, so stehen die Wellen  $f$  und  $f'$  mit dem Dorndraht  $h$  still, während die Spindel  $c$ , welche von dem auf der hohen Welle  $b$  sitzenden Zahnrad getrieben wird, unverändert weitergedreht wird.

Der bewegliche Teil  $k_2$  der Kupplung ist mit einem Arm  $m$  versehen, an welchem sich ein Gleitstück befindet, welches auf einem Keilstück  $n$  ruht. Das Keilstück  $n$  gehört zu dem einen Arm des Kniehebels  $o$  mit den Drehpunkten  $p$  und  $p'$ . Der andere Arm des Kniehebels trägt das Leitlineal  $q$ , auf welchem Gleitzähne  $r$  befestigt sind. Nun befindet sich an der Mutter  $d$  ein Arm  $s$ , welcher mit seinem keilförmigen Ende nicht bis an das Lineal heranreicht. Sobald er aber beim Fortschreiten der Mutter an einen Gleitzahn  $r$  kommt, drückt er den Doppelhebel  $o$  herunter und rückt nun mittels des Keilstückes  $n$  die Kupplung aus.

Beim weiteren Fortschreiten der Mutter  $d$  kann der Doppelhebel  $o$ , dem Zug der Feder  $t$  folgend, in die ursprüngliche Lage zurückgehen. Gleichzeitig wird die stehende Kupplungshälfte  $k_2$  von der Feder  $n$  mit der rotierenden Kupplungshälfte  $k_1$  in Eingriff gebracht und die Wellen  $f$  und  $f'$  bzw. der Dorndraht  $h$  rotiert wieder so lange, bis der Arm  $s$  den Doppelhebel  $o$  nach unten drückt.

Die Gleitzähne  $r$  können auf dem Leitlineal willkürlich verstellt werden, auch kann die Drehzahl des Dorndrahtes und der Leitspindel durch passende Wahl der Zahnräder nach Bedarf variiert werden. So lassen sich Windungszahl, Schraubenlänge und die Zahl der geraden Zwischenstücke beliebig einstellen.

Seit dem 12. Dezember 1915 ist die durch Abb. 47 in perspektivischer Ansicht dargestellte Maschine der Westing-  
Hevers, Elektr. Glühlampen.

house Metal Filament Lamps Company Limited  
in London durch D. R. P. 323 897 patentiert.

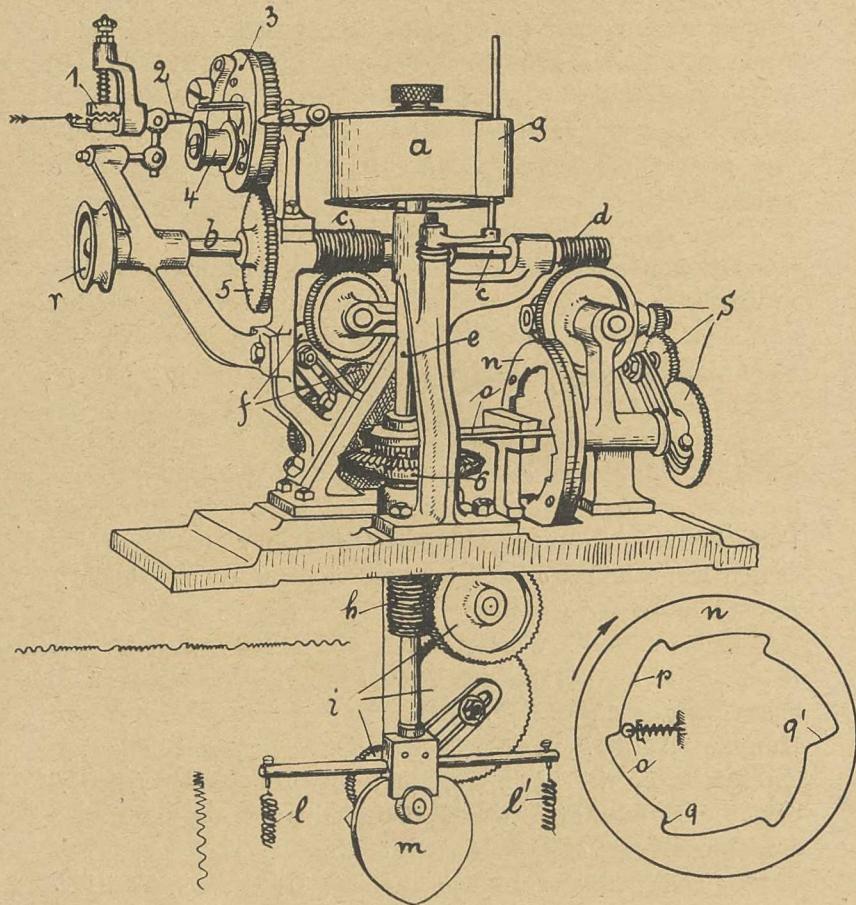


Abb. 47.

Im Gegensatz zu der vorbeschriebenen Ausführung vermag diese Maschine Drahtschrauben beliebiger Länge herzustellen.

Der mit Bezug auf die Abbildung von links, etwa von einer Haspel kommende Dorndraht wird in Richtung des

Pfeiles in die Maschine geführt; er passiert zunächst die Spannvorrichtung 1 und ein Führungsrohr 2, geht dann durch die Mittelloffnung der Wickelscheibe 3 hindurch und wird schließlich auf die Trommel *a* aufgewickelt.

Der Glühfadendraht befindet sich auf einer nahe am Umfange der Wickelscheibe angebrachten Spule 4. Er wird dem Dorndraht mit Hilfe eines Auslegers zugeführt, so daß der Draht unabhängig von der Länge der Spule 4 stets an derselben Stelle auf den Dorndraht aufläuft.

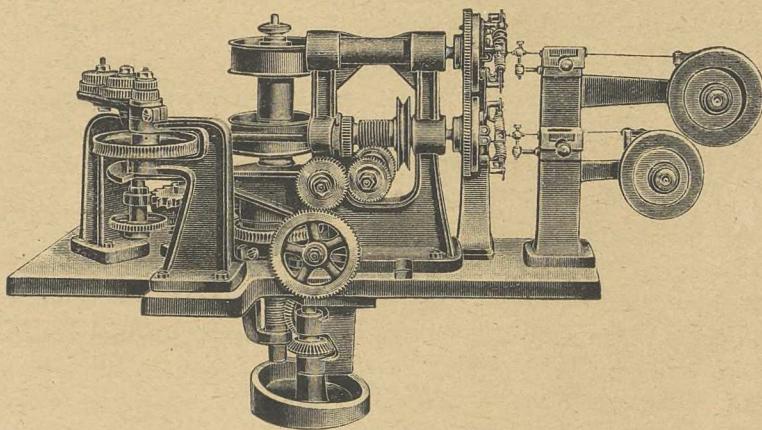


Abb. 48.

Der Antrieb der Maschine erfolgt mittels der Rimenscheibe *r*, welche die horizontale Welle *b* mit den beiden Schnecken *c* und *d* dreht. Außerdem befindet sich auf dieser Welle das Zahnrad *5*, welches die Wickelscheibe 3 in schnelle Rotation versetzt. Die Spule 4 läuft hierbei also um den durch die Mitte der Wickelscheibe hindurchgehenden Dorndraht herum, wobei sich der ablaufende Leuchtdraht in Windungen um den Dorndraht legt. Die Windungen werden um so steiler verlaufen, je schneller der Dorndraht hindurchgezogen wird und um so enger aneinander liegen, je langsamer der Dorndraht sich unter dem umlaufenden Leuchtdraht bewegt. Die Trommel *a* hat also die Aufgabe, den Dorndraht

mit der erforderlichen Geschwindigkeit aufzuwickeln; eine plötzliche Beschleunigung der Trommel ergibt ein fast gerades Zwischenstück.

Hiervon macht die Maschine Gebrauch: Die gleichförmige Drehung, auf das erforderliche Maß herabgesetzt, erhält die senkrechte Trommelwelle *e* von der Schnecke *c* über ein auswechselbares Zahnradvorgelege *f* durch ein Kegelräderpaar. Das auf der Welle *e* sitzende Kegelrad 6 ist durch einen besonderen Sperrmechanismus so eingerichtet, daß es eine beschleunigte Drehung der Welle *e* nicht mitzumachen braucht, selbst aber die Welle bei gleichförmiger Drehung mitnimmt und außerdem der Welle eine achsiale Verschiebung nach oben bzw. unten gestattet. Diese senkrechte Verschiebung der Trommel *a* ist nötig, damit bei der fortschreitenden Aufwicklung des fertig bewickelten Dorndrahtes auf die Trommel *a* die Windungen sich glatt nebeneinander legen können. Zum Festhalten der Windungen dient die durch eine Feder angedrückte Walze *g*. Es ist selbstverständlich, daß die Auf- und Abbewegung der Trommel der Aufwicklungsgeschwindigkeit angepaßt sein muß; zur Herbeiführung der übereinstimmenden Bewegungsverhältnisse treibt die Schnecke *h* mit Hilfe des auswechselbaren Vorgeleges *i* die Kurvenscheibe *m* zu langsamer Drehung an, auf deren Kurvenbahn die Spindel *e* der Trommel *a* gleitet und dementsprechend gehoben und gesenkt wird. Zwei Zugfedern *l* und *l'* sichern die Berührung zwischen Kurvenscheibe *m* und Spindel.

Um nun die geraden Zwischenstücke zwischen den einzelnen Teilen des Schraubendrahtes herstellen zu können, wird die Trommel und damit der von ihr gezogene Dorndraht zeitweise beschleunigt. Das geschieht durch eine Kurvenscheibe *n* (siehe auch Nebenzeichnung), gegen deren Kurvenbahn das eine Ende eines Hebel *o* durch eine Feder angedrückt wird. Dieser Hebel steht mit seinem anderen Ende mit einem Klinkenrade in Verbindung, welches lose auf der Trommelwelle *e* sitzt und sich mit der Welle dreht. Wenn nun der Hebel *o* bei der Drehung der Kurvenscheibe *n* durch den

Federdruck plötzlich nach außen gedrückt wird, so wirkt dieser Druck unter Mitwirkung des erwähnten Klinkenrades beschleunigend auf die Trommelwelle, und die Folge davon ist, daß der Dorndraht plötzlich ein Stückchen unter dem Ankerdraht fortrückt, ohne bewickelt zu werden. Durch passende Formgebung der Kurvenbahnen  $p$  und Tiefe der Rasten  $q$  und  $q'$ , sowie durch die Wahl der Drehzahl der durch die Schnecke  $d$  und das auswechselbare Vorgelege  $s$  angetriebenen Kurvenscheibe  $n$  kann man die Länge der Drahtschrauben, die Zahl und die Länge der geraden Zwischenstücke in weiten Grenzen variieren, wie die Nebenzeichnungen erkennen lassen.

Um die praktische Ausführung einer solchen Maschine zu zeigen, ist in Abb. 48 eine von der „Helios“ Elektrizitäts-A.-G., Budapest, gebaute Spiralmaschine dargestellt. Man erkennt unschwer den gleichen Mechanismus wie bei der vorbeschriebenen Maschine. Nur die Anordnung der einzelnen Teile ist abweichend. Die Maschine ist so eingerichtet, daß gleichzeitig zwei Drahtschrauben angefertigt werden können. Sie ist mit einer besonderen Anordnung zur elektrischen Heizung des Spiraldrähtes während des Wickelns versehen. Die Umdrehungsgeschwindigkeit beträgt 500 bis 2500 Touren pro Minute, der Kraftverbrauch beläuft sich auf  $1/2$  PS. Die Größe der Maschine ist  $840 \times 470 \times 330$  mm.

Die im folgenden beschriebene Maschine, welche der Allgemeinen Elektricitäts - Gesellschaft in Berlin unter Nr. 309037 vom 7. März 1916 ab patentamtlich geschützt ist, geht von demselben Grundprinzip aus: Der Dorndraht wird gleichmäßig fortgezogen und der umlaufende Leuchtdraht umwickelt ihn in der gewünschten, an der Maschine einstellbaren Weise. Abweichend ist die Erzeugung der geraden Zwischenstücke. Während bei der vorbeschriebenen Maschine zu diesem Zwecke der Dorndraht periodisch beschleunigt wurde, wird bei dieser der umlaufende Leuchtdraht periodisch in Stillstand versetzt.

Die Maschine ist in Abb. 49 in Grund- und Aufriß dargestellt. Auf der Grundplatte  $A$  sind der antreibende Elektro-

motor  $M$  und die beiden Lagerböcke  $B$  und  $B'$  fest montiert. In den beiden Lagern ist der mittlere Gußkörper  $C$  mit seinen

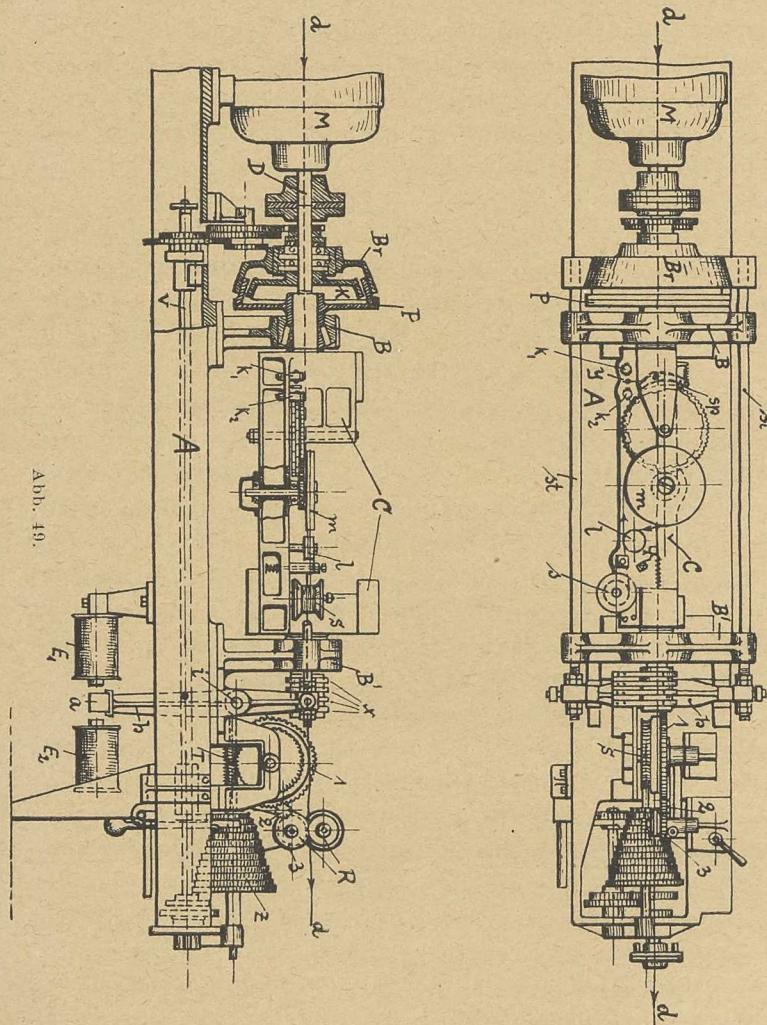


Abb. 49.

Zapfen leicht drehbar gelagert. Die Zapfen und auch die von dem Elektromotor ausgehende Welle  $D$  sind durchbohrt, so daß der Dorndraht  $d$ , gezogen durch die Reibungsräder  $R$ ,

in Richtung des Pfeiles durch die Maschine läuft. Die Reibräder erhalten ihren Antrieb durch die Zahnräder 1, 2, 3. Von diesen sitzt das Zahnrad 1 mit dem Schneckenrade  $S$  auf derselben Welle. Das Schneckenrad wird von der mit dem Stufenrädermagazin  $Z$  auf derselben Welle sitzenden Schnecke  $T$  angetrieben, während das Rädermagazin unter Zwischenschaltung einer veränderlichen Übersetzung durch die Welle  $V$  von der Hauptwelle  $D$  aus direkt gedreht wird.

Auf dem mittleren, rotierenden Teile  $C$  ist der Leuchtdraht auf die Spule  $s$  aufgewickelt, von welcher er in Richtung der kleinen Pfeile über eine Leitrolle  $l$  und eine Scheibe  $m$  dem Dorndraht zugeführt wird. Wird die Maschine in Bewegung gesetzt, so wird der Dorndraht mit der den gewählten Übersetzungen entsprechenden Geschwindigkeit durch die Maschine gezogen, während der Leuchtdraht um ihn herumläuft und den Dorndraht gleichmäßig bewickelt. Nun soll aber die Maschine auch die Herstellung von beliebig vielen geraden Zwischenstücken in beliebiger Folge ermöglichen. Das erreicht die Maschine dadurch, daß der ganze mittlere Teil, welcher den Leuchtdraht trägt, momentan und auf kurze Zeit stillgesetzt wird, während der Dorndraht weiterläuft und den Leuchtdraht windungslos abwickelt. Zu dem Zweck hat die Hauptwelle eine Kupplung  $K$  und eine Bremse  $Br$ , welche in achsialer Richtung verschoben werden können und den zwischen ihnen liegenden unverschiebbaren, mit dem Kopfe  $C$  verbundenen Teil  $P$  angreifen. Greift die Bremse an, so steht der mittlere Teil still, greift die Kupplung an, so rotiert er. Die erforderliche Verschiebung des Kupplungs-teiles erfolgt auf elektrischem Wege, indem einer der beiden Elektromagnete  $E_1$  oder  $E_2$  den Anker  $a$  nach links bzw. nach rechts zieht. Der Anker dreht den Hebel  $h$  um den Drehpunkt  $i$ , so daß die beiden mit dem anderen Hebelarm verbundenen Stangen  $st$ , welche in den Lagerständern geführt werden, den Kupplungsteil in der einen oder anderen Richtung verschieben.

Den Stillstand und das Weiterlaufen des mittleren Teiles der Maschine steuert der ablaufende Leuchtdraht selbst; er läuft um die Scheibe  $m$ , welche durch zwei Zahnräder 4 und 5 zwei Scheiben mitnimmt, auf deren Umfang sich Nocken befinden. Diese betätigen den Sperrhaken  $sp$  und die Kontaktzunge  $y$ , welche abwechselnd mit den beiden festen Kontakten  $k_1$  und  $k_2$  in Berührung tritt, wodurch unter Vermittlung der Schleifringe  $\alpha$  die Solenoide  $E_1$  und  $E_2$  in der erforderlichen Weise magnetisiert und entmagnetisiert werden.

Durch Variation der Zahnräderübersetzungen und des Dordndrahdurchmessers sowie der Umlaufgeschwindigkeit der Nockenräder, welche durch die Größe der auswechselbaren Scheibe 39 bestimmt ist, können auch mit dieser Maschine Drahtschrauben von verschiedenster Gestalt hergestellt werden.

Nach einem Verfahren der Glühlampenfabrik Watt A.-G., Wien<sup>1)</sup>, werden die Metallseelen elektrolytisch aufgelöst, was den Vorteil haben soll, daß die Schrauben nicht so leicht deformiert werden. Die Spiralen werden in ein Säurebad gebracht und mit dem positiven Pol einer Gleichstromquelle verbunden. Der negative Pol wird durch eine Metall- oder Kohlenplatte gebildet. Nach Angaben der Erfinder ist eine chemische Einwirkung auf den Glühdraht niemals beobachtet worden.

Viele Glühlampenfabriken beschränken sich auf die Herstellung der Lampen selbst und beziehen die Drähte von Spezialfabriken. Eine solche Bezugsquelle ist das Wolframlaboratorium Dr. Ing. P. Schwarzkopf, G. m. b. H., Berlin.

---

1) D. R. P. Nr. 315667.

---



---

---

## B. Der Aufbau der Lampen.

Die Fertigstellung der Lampen selbst erfordert ebenfalls eine mannigfaltige, dabei sorgfältige und genaue Arbeit. Wenngleich der Glühkörper das Wesen der Lampe bestimmt und in diesem Sinne die Herstellung der Fäden weitaus den bedeutsamsten Teil der Glühlampenfabrikation ausmacht, so bringt der Weg vom Leuchtdraht zur fertigen Lampe doch noch mancherlei Probleme und Schwierigkeiten. In der Tat nehmen die zahlreichen Krankheiten, die die Glühlampen nur gar zu häufig vorzeitig befallen, zum überwiegenden Teil in der unvollkommenen Durchführung des nun mehr zu beschreibenden Fabrikationsabschnittes ihren Ursprung.

Bevor wir an die Beschreibung der einzelnen Arbeiten herantreten, soll zunächst eine allgemeine Übersicht gegeben werden über den Gang der Fabrikation einer Glühlampe, wobei eine der gebräuchlichsten Lampen mit im Zick-Zack angeordnetem Leuchtdraht als Beispiel diene.

Die Abb. 50 zeigt als erstes ein kurzes Glasröhrchen, aus welchem durch Erweiterung des einen Endes ein Tellerrohr 2 entsteht. Das als Mittelstütze bestimmte Glasstäbchen 3 erhält an zwei Stellen eine Verdickung, einen Ring und einen Kopf welche auch als Glasperlen bezeichnet werden. 6 stellt einen der beiden Zuleitungsdrähte dar, welcher sich wiederum aus drei Teilen zusammensetzt: aus einem Kupferdraht oben, einem Platindraht in der Mitte und einem Draht aus Nickel oder geeignetem Ersatzmaterial.

Teller, Mittelstütze und Zuleitungsdrähte werden nun derart miteinander vereinigt, daß das Gestell 7 entsteht. Nun werden die Perlen mit den Halterdrähtchen versehen (8, 9) über welche der Glühdraht gespannt wird. 10 stellt den fertigen Lampeneinbau dar.

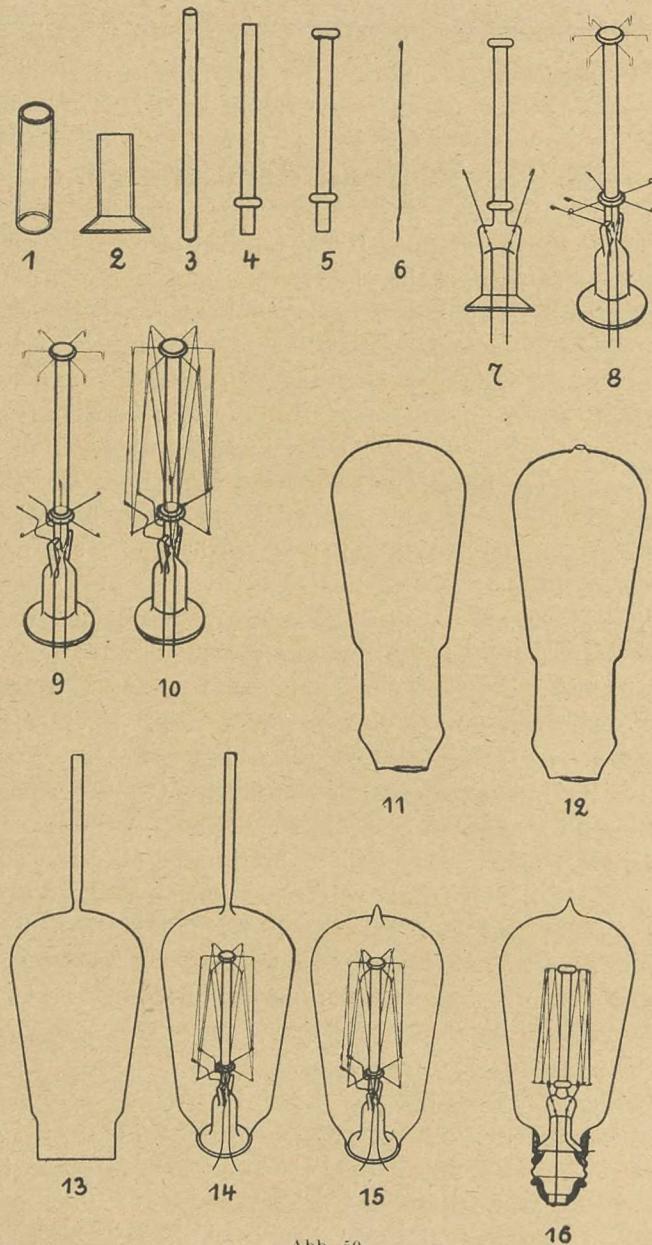


Abb. 50.

16

Ein Glaskolben 11, wie er fertig von der Glashütte geliefert wird, wird in der Mitte des Kopfes mit einer Öffnung versehen (12), über welche ein Glasrohr, der sog. „Pumpstengel“, gesetzt wird, welcher später das Entlüften der Lampe ermöglichen soll. Dann wird der untere Teil des Glasballons abgesprengt (13). Nachdem die Glocke soweit vorbereitet ist, wird der Innenteil mit dem Glasballon durch Einschmelzen vereinigt (14). Jetzt wird die Lampe luftleer gepumpt und das Pumpenröhren abgeschmolzen (15). Als letztes wird die Lampe mit einem Sockel versehen, an welchem die Zuleitungsdrähte angelötet werden. 16 zeigt die fertige Lampe.

## I. Das Drehen der Teller. — Die Gasgebläse.

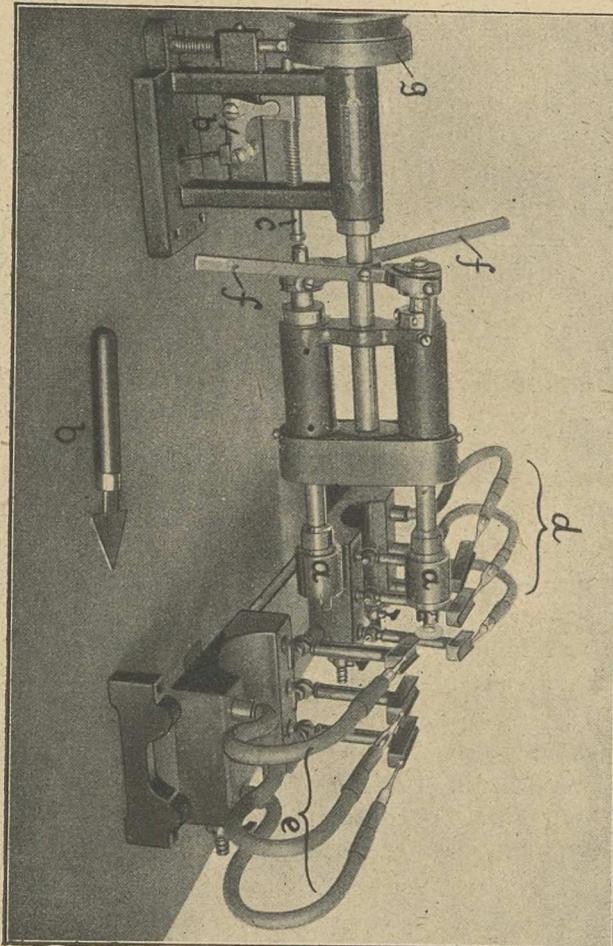
Von einem langen Glasrohr von entsprechender Weite werden mittels glasharter, scharfer Stahlmesser kurze, gleichlange Röhren abgeschnitten, welche in einer Tellerdrehmaschine zu Tellern verarbeitet werden. Abb. 51 zeigt eine von der Firma Gebr. Köppel, Berlin, hergestellte Tellerdrehmaschine.

Die Maschine besitzt zwei Einspannfutter *a*, welche so eingerichtet sind, daß durch Entspannen einer im Innern des Futters befindlichen Feder drei Klemmbacken gespreizt werden können, so daß ein Glasröhren in dasselbe eingeführt werden kann. Das Entspannen der Feder erfolgt in der Weise, daß durch Herunterdrücken eines unter dem Tisch befindlichen, in der Abbildung nicht sichtbaren Fußtritts der Hebel *c* durch Vermittlung der Stange *d* einen Druck nach vorn ausübt. Nach Aufhebung des Druckes schließen sich die Klemmbacken wieder und das Glasrohr wird festgehalten.

Dann wird der ganze vordere Teil der Maschine herumgeworfen, so daß der aus dem Einspannfutter herausragende Teil des Röhrens in den Schmelzraum eines unten näher beschriebenen Kreuzfeuergebläses *a* und *b* hineinkommt. Der

Hebel gestattet eine Hin- und Herbewegung der Futter in  
achsialer Richtung, so daß das Röhrchen langsam in das Feuer

Abb. 51.



hineingebracht werden kann und ein Zerspringen desselben vermieden wird.

Gleichzeitig wird das Zentrierfutter durch einen an der Riemenscheibe *g* angreifenden Motor ( $1/8$  PS) in schnelle Rotation versetzt. Die gewünschte tellerförmige Erweiterung

erlangt das Röhrchen, indem in das erweichte Ende derselben ein dreieckiger metallener Auftreiber *h* eingeführt wird, welcher die Wände des Röhrchens nach außen drückt. Statt des Auftreibers werden mit Vorteil auch gut gespitzte Bogenlampenkohlen verwendet.

Während das im Kreuzfeuergebläse befindliche Einspannfutter rotiert, ist das andere in Ruhe. Nach genügendem Erkalten kann das fertige Tellerchen herausgeworfen und mit Hilfe des Hebels *f* ein neues Röhrchen eingesetzt werden.

Ein flotteres Arbeiten ermöglichen die dreiteiligen Tellerdrehmaschinen, mit drei Einspannfuttern. Eine geübte Arbeiterin vermag mit einer solchen Maschine bei achtstündiger Arbeitszeit 2500 bis 3000 Teller herzustellen.

Für die gesamten glastechnischen Arbeiten werden Gasbrenner verwendet, und zwar in mannigfaltigen, dem jeweiligen Arbeitszweck angepaßten Konstruktionen.

Lassen wir aus einem Brenner Leuchtgas allein austreten, so verbrennt es nach dem Entzünden mit Hilfe der umgebenden Luft. Die Verbrennung kann nur langsam vor sich gehen, weil die Luft den Gasstrom von außen umspült. Blasen wir nun in die Leuchtflamme einen kräftigen Luftstrom hinein, so wird infolge einer innigen Mischung von Luft und Leuchtgas der Verbrennungsprozeß konzentriert, d. h. die durch die Verbrennung freiwerdende Wärme wird auf einen beschränkteren Raum abgegeben, was eine ganz bedeutende Erhöhung der Temperatur der Flamme unmittelbar zur Folge hat. Die Flamme zeigt infolge zahlreicher kleiner Teilexplosionen ein eigenständiges Rauschen. Die Abscheidung von freiem Kohlenstoff innerhalb der Flamme, welcher bei der gewöhnlichen Flamme in Form von feinsten, aber festen glühenden Teilchen das Leuchten und Rußen verursacht, wird verhindert, indem der Kohlenstoff sofort zu Kohlendioxyd verbrennt.

Dieses Prinzip erhält seine praktische Ausgestaltung in den in Abb. 52 dargestellten amerikanischen Einzelsiebbrennern, welche dann zu den Kreuzfeuergebläsen vereinigt

werden, deren Anwendung wir bei den Tellerdrehmaschinen bereits kennen gelernt haben. Das Leuchtgas tritt bei *a* in den Brenner ein; *c* ist eine metallene Mulde, welche mit vielen feinen Öffnungen versehen ist, aus denen das Leuchtgas ausströmt. Aus der Düse *e*, welche meistens aus Hartglas gefertigt ist, bläst die bei *b* in den Brenner eintretende Preßluft in kräftigem Strahl heraus und erzeugt einen dünnen, langgestreckten Flammenkegel. Das Rohr *d* ist aus biegsamem Blei gefertigt, damit die Düse richtig eingestellt werden kann. Die Brennermulden sind ebenfalls drehbar und in der Höhe verstellbar, außerdem sind die Brenner des Kreuzfeuers auf einem Schlitten beweglich montiert, um die Flammen nach Belieben einstellen zu können. Hingegen ist es oft recht schwierig, Gas und Preßluft zu der heißen Stichflamme richtig einzuregulieren.

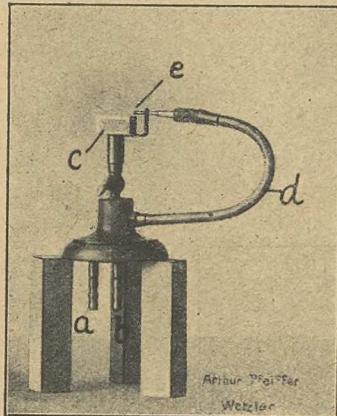


Abb. 52.

men nach Belieben einstellen zu können. Hingegen ist es oft recht schwierig, Gas und Preßluft zu der heißen Stichflamme richtig einzuregulieren.

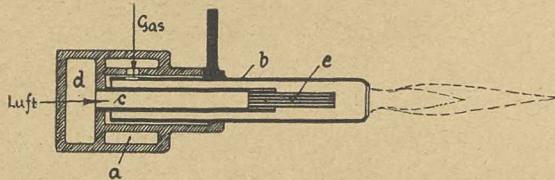


Abb. 53.

Diese Brenner sind nur noch wenig in Gebrauch. An ihre Stelle sind die sehr viel günstiger arbeitenden Bornkesselgebläse getreten, welche nicht nur eine sichere Einregulierung der Flamme, sondern infolge einer noch innigeren Vermischung von Luft und Leuchtgas eine günstigere Verbrennung und infolge der Anordnung der Düsen ein bei den vorher beschriebenen Brennern sich oft lästig bemerkbar

machendes Flackern der Flammen vermeiden. Abb. 53 zeigt einen Schnitt durch einen Bornkesselbrenner. Das Gas strömt in eine ringförmige Kammer *a* und gelangt durch eine seitliche Öffnung in die Regulierhülse *b*. Im Gegensatz zu den amerikanischen Brennern befindet sich das Luftzuführungsrohr *c* ebenfalls innerhalb des Brenners. Der in die Kammer *d* eintretende Präßluftstrom wird auf seinem Wege zur Brennermündung durch zahlreiche in einem Düsenkörper *e* aus Hartglas befindliche Kanäle weitgehend unterteilt und vereinigt sich kurz vor dem Verlassen des Brenners mit dem Leuchtgas zu einem innigen Gemisch.

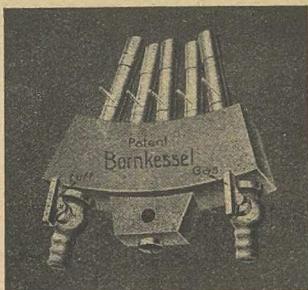


Abb. 54.

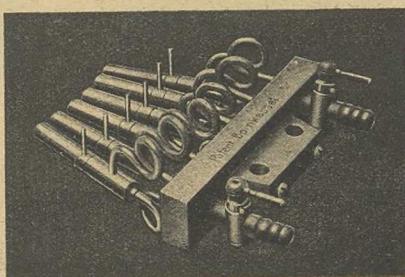


Abb. 55.

Die Brenner werden in mannigfaltigen Konstruktionen ausgeführt und werden uns im folgenden noch oft begegnen. Für die Tellerdrehmaschine kommen 10- bis 14fache Gebläse in Frage, also fünf bis sieben Düsen auf jeder Seite. Zur Bearbeitung der Teller kommt es auf die Erhitzung einer breiten Zone an. Das wird erreicht durch eine zweireihige Anordnung der Brenner (Abb. 54). Abb. 55 zeigt einen Kreuzfeuerbrenner mit beweglichen Düsen. Diese haben gegenüber den feststehenden den Vorzug, daß sie je nach Bedarf in einer Reihe oder gegen einander versetzt eingestellt werden können.

Ausgedehnte Verwendung finden ferner die Einzelgas-gebläse mit Kipp- oder Kugelbewegung, welche nach gleichen oder ganz ähnlichen Prinzipien gebaut sind, wie die oben be-

schriebenen Bornkesselbrenner. Abb. 56 zeigt uns ein mit Kugelgelenk versehenes allseitig bewegliches Gebläse, Abb. 57

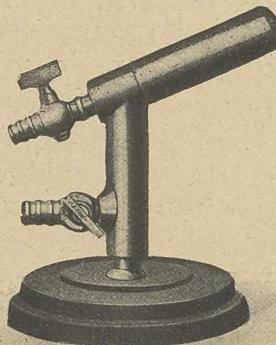


Abb. 56.

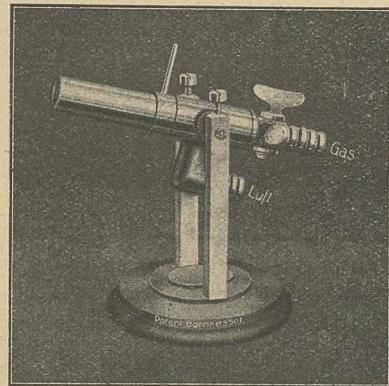


Abb. 57.

ein solches mit vertikal nach oben und unten schwenkbarer Düse.

## 2. Der Linsenträger.

Zur Anfertigung des Linsenträgers werden gleichlange Glasstäbchen von reichlich der doppelten Länge der fertigen

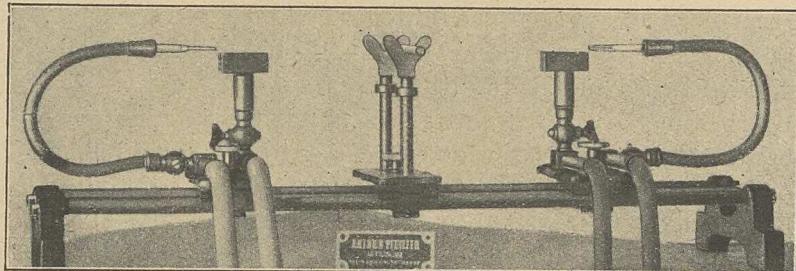


Abb. 58.

Träger zugeschnitten. Die Linsen werden meistens mit der Hand gefertigt. Man kann sich dazu der einfachen, auf Abb. 58 gezeigten Vorrichtung bedienen. Während der

wagerecht auf den beiden Gabeln ruhende Stab dauernd gedreht wird, erwärmen die feinen Spitzen eines einfachen Kreuzfeuers eine schmale Zone des Stabes an der Stelle, wo die Linse erzeugt werden soll. Ist das Glas weich geworden, so schiebt die Arbeiterin den Stab zusammen, so daß die gewünschte wulstartige Verdickung entsteht. Nachdem man die erste Linse an die Gabel herangeschoben hat, wird auf dieselbe Weise die zweite Linse erzeugt (Abb. 59 oben).

Statt der einfachen Gabeln lassen sich mit Vorteil Rollenlager verwenden, welche aus je zwei horizontal gelagerten drehbaren Rollen bestehen. Der Glasstab ruht sicherer und ist leichter drehbar. Statt des Kreuzfeuers ver-

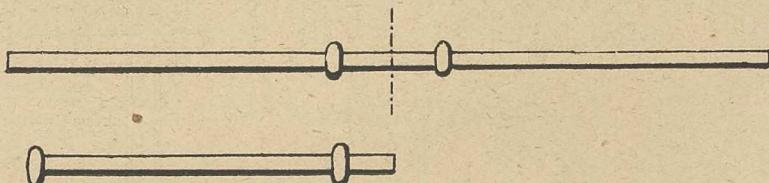


Abb. 59.

wendet man vielfach einfache Gebläse mit Kugelgelenk (Abb. 56), welche zur Beschleunigung des Arbeitsganges federnd auf den Tisch montiert sind und durch Betätigung eines Fußhebels auf- und abbewegt werden können.

Die Stäbchen (Abb. 59) werden in der Mitte zerschnitten und event. auf richtige Länge geprüft und passend zugeschnitten. Mit einer Lehre müssen die Linsendurchmesser nachgemessen werden. Die Linsen dürfen eine bestimmte Größe nicht überschreiten, weil sie sonst nicht in die für sie bestimmte Aussparung der Zange der Fußchenquetschmaschine hineinpassen. Der Kopf wird durch einfaches Erhitzen und Aufdrücken des vorderen Stäbchenendes auf den Tisch erzeugt.

Durch Patent 262682 wurde Robert Neuß in Aachen im Jahre 1913 eine Maschine geschützt, welche die Glaswülste automatisch erzeugt. Abb. 60 veranschaulicht links

oben die Arbeitsweise der Maschine. Unten ist der Grundriß und oben rechts die Arbeitsweise der Stauchvorrichtung gezeigt. Die fertig geschnittenen Glasstäbe befinden sich in einem Aufnahmebehälter *a* und fallen selbst-

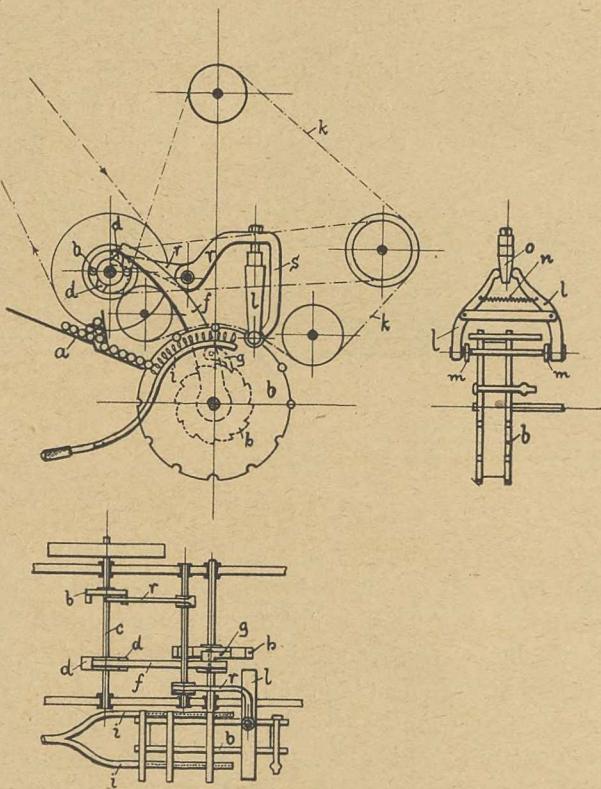


Abb. 60.

tätig auf eine Transportvorrichtung *b*, welche am Rande mit Rillen versehen ist. Eine Antriebsachse *c* ist mit Nocken *d* versehen, welche einen an der Transportscheibenachse lose befestigten Hebel *f* hin und her bewegen. Vermittels der Klinke *g* und des Sperrzahnrades *h* wird die Transportscheibe dadurch schrittweise fortgeschaltet. Durch einen Gebläsebrenner *i* werden die zu bearbeitenden Stellen des

Stabes erhitzt. Die Stäbe werden von einem Transportband *k* in Umdrehung versetzt. Über der Transportscheibe ist die in Abb. 80 dargestellte Stauchvorrichtung angeordnet. Diese besteht aus zwei zweiarmigen Hebeln *l*, welche von einem Keil *o* entgegen der Wirkung der Feder *n* so bewegt werden, daß die mit drehbaren Scheiben *m* versehenen Enden sich nähern. Der Keil wird bei jedesmaligem Stillstand der Transportscheibe mittels der auf der Antriebsachse befestigten Nockenscheibe *b* und dem Hebelarm *r* betätigt. Die Scheiben *m* drücken alsdann den noch immer rotierenden Glasstab zusammen, so daß an den erhitzten Stellen die Verdickungen gebildet werden. Um bei der Stauchung Verbiegungen zu vermeiden, kann der Glasstab von der an dem Hebel *r* angeordneten Führung *s* gehalten werden.

### 3. Stromzührungsdrähte.

Da die Stromzuleitungsdrähte die Verbindung herstellen zwischen dem im Innern der Lampe befindlichen Glühkörper und den außen befindlichen Kontakten der Stromquelle, müssen dieselben so in das Glas eingebettet sein, daß ein unbedingt luftdichtes Abschließen der Lampenglocke gewährleistet ist, denn wie bereits erwähnt, machen schon sehr geringe Mengen von Wasserstoff und Wasserdampf usw. innerhalb der Lampe diese in kurzer Zeit unbrauchbar.

Dabei ist zweierlei zu beachten, nämlich erstens, daß eine Oxydschicht das feste Anschmiegen des Glases an den Draht verhindert und zweitens, daß jeder Körper einen ihm eigentümlichen Ausdehnungskoeffizienten besitzt; das will sagen, daß sich verschiedene Körper beim Erhitzen verschieden schnell auszudehnen pflegen.

Diese beiden Momente sind insofern von großer Bedeutung, als der im nächsten Abschnitt zu besprechende Prozeß des Fußchenquetschens, durch welchen die Zuleitungsdrähte in das Glas eingeschmolzen werden, bei hohen Temperaturen

vorgenommen werden muß, was zunächst die Oxydation des Metalls außerordentlich begünstigt. Hat der Zuleitungsdräht andererseits einen kleineren oder größeren Ausdehnungskoeffizienten als das verwendete Glas, so wird das Glas an der Einschmelzstelle im ersten Falle beim Abkühlen zerpringen, im zweiten bildet sich zwischen Glas und Draht ein feiner Kanal, welcher die Luft in die Birne eindringen läßt. Es besteht also die Notwendigkeit, ein Metall zu verwenden, welches wenigstens annähernd dieselbe Ausdehnung als das verwendete Glas besitzt und außerdem schwer oxydiert. Der Zufall will es, daß uns ein derartiges Metall von Natur aus zur Verfügung steht. Es ist das Platin, welches denn auch als Einschmelzdraht weitgehende Verwendung gefunden hat.

Es ist begreiflich, daß in Anbetracht der hohen Preise des Platins frühzeitig Bestrebungen auftauchten, ein vollgültiges, weniger wertvolles Ersatzmaterial ausfindig zu machen. Das ist in der Tat gelungen.

Man hat sich in der Weise zu helfen gewußt, daß man zwei oder mehrere unedle Metalle, teils von geringerem, teils von größerem Ausdehnungskoeffizienten als das Glas, in einem derartigen Verhältnis miteinander vereinigte, daß daraus ein Metall von gewünschtem Ausdehnungskoeffizienten resultierte.

Ausgedehnte Verwendung hat z. B. der Eldredddraht gefunden. Dieser besteht aus einer Eisen-Nickellegierung als Kerndraht, welcher zum Schutze gegen Oxydation von einem Mantel aus reinem Platin umgeben ist. Der Eldredddraht hat gewöhnlich einen Platingehalt von 30 bis 40 %. Da das spezifische Gewicht des Eldreddrautes annähernd halb so groß ist als das des Platindrahtes, läßt sich aus derselben Gewichtsmenge der beiden Materialien ein etwa doppelt so langer Eldredddraht herstellen als Platindraht von gleichem Durchmesser. Demnach ergibt sich bei Verwendung des Ersatzdrahtes eine Ersparnis von etwa 80 %.

Andere Ersatz-einschmelzdrähte ohne jeglichen Platingehalt bestehen aus Legierungen von Kupfer, Nickel, Zink

und Wolfram wechselnder Zusammensetzung (Platinid, Titaldräht). Dieselben bieten jedoch keine Gewähr für absolute Dichtigkeit, da sie sich nicht fest genug an das Glas anschmiegen und zur Bildung von kleinen Luftbläschen an der Einschmelzstelle Veranlassung geben. Dasselbe gilt von Chromeisendrähten. Bei Verwendung derartiger Drähte gebraucht man die Vorsichtsmaßregel, den Lampenfuß von außen mit schwer schmelzbaren Kitteln abzudichten.

Sehr gute Resultate hat die A. E. G. mit Kupferdrähten und Legierungen aus Kupfer und Kobalt erzielt<sup>1)</sup>. Das Kupferoxyd löst sich nämlich im Glase, so daß es keinen störenden Einfluß ausübt. Da Kupfer und Kobalt einen größeren Ausdehnungskoeffizienten haben als Glas, so müssen die Drähte eine Seele aus Metallen mit niedrigeren Ausdehnungskoeffizienten erhalten, aus Wolfram oder Molybdän oder einer Legierung aus 54% Eisen und 46% Nickel. Bei einer Wolframseele von 0,5 mm Durchmesser soll die Wandstärke der Kupferhülse 0,07 mm betragen. Das Aufziehen des Mantels und die luftdichte Verlötung machen die Herstellung derartiger Drähte hingegen sehr umständlich und teuer, da eine große Genauigkeit in der Abmessung der Durchmesser von Kern und Mantel erforderlich ist.

Sehr viel vorteilhafter gestaltet sich daher die Verwendung einfacher Legierungen. Die A. E. G. hat gefunden, daß Legierungen aus Eisen, Kobalt, Molybdän und Wolfram oder eine geeignete Auswahl aus diesen hervorragende Einschmelzdrähte ergeben<sup>2)</sup>. Für Bleiglas haben sich ganz besonders folgende Zusammensetzungen bewährt: 80% Eisen, 10% Kobalt, 10% Molybdän oder 75% Eisen, 10% Kobalt und 15% Wolfram. Die Resultate sind von kleinen Änderungen nahezu unabhängig. Geringe Zusätze von Silber oder Kupfer erhöhen die Duktilität. Ferner hat die Firma gefunden<sup>3)</sup>, daß Drähte aus Nickeleisen und Chromeisen bei

<sup>1)</sup> D. R. P. 278 655 vom 6. Juni 1913 und D. R. P. 271 012 vom 10. Juni 1913.

<sup>2)</sup> D. R. P. 301 100 vom 11. Februar 1916.

<sup>3)</sup> D. R. P. 301 846 vom 31. März 1916.

geringem Zusatz von Molybdän, Wolfram oder Kobalt (z. B. 5% oder sicherer 10%) ebenfalls eine blasenfreie, vollkommen einwandfreie Einschmelzung ergeben.

Um an Material zu sparen, macht man die kostbaren Einschmelzdrähte nur 3 bis 4 mm lang und verbindet sie einerseits mit gewöhnlichem Kupferdraht und andererseits mit Nickeldraht, welcher in die Lampe hineinführt und mit

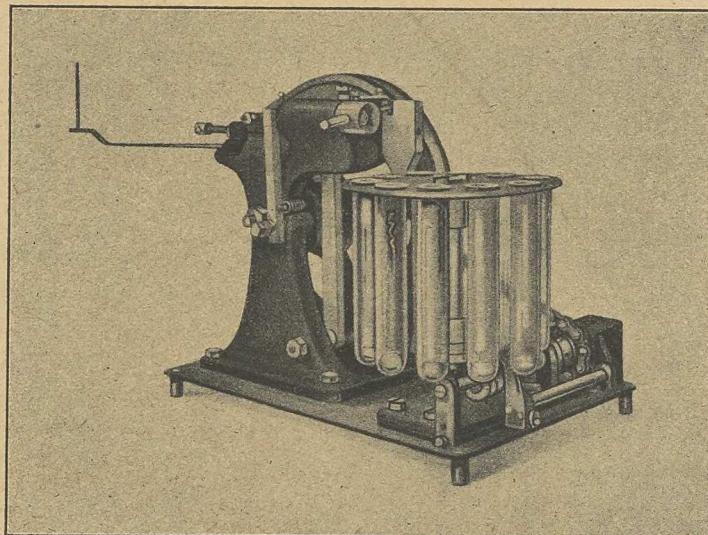


Abb. 61.

dem Glühdraht verbunden wird. Statt des Nickeldrahtes verwendet man heute auch bereits Kupfer- oder gar Eisendraht.

Das Schneiden der kurzen Einschmelzdrähte geschieht vollkommen mechanisch durch besondere Drahtschneidemaschinen. Die Firma Gebr. Köppel, Berlin, stellt eine Maschine her, welche pro Tag etwa 20000 bis 30000 Drähte bei einem Kraftbedarf von  $1/10$  PS schneidet.

Eine Maschine der Glühlampenbedarf G. m. b. H., Berlin-Treptow, ist in Abb. 61 dargestellt. Dieselbe ist mit Zählwerk ausgestattet und schneidet Platin oder Einschmelzdraht bis 22 mm Länge.

Das Schneiden der Kupferdrähte kann auch mit der Hand sehr einfach in der Weise erfolgen, daß man dieselben auf Schablonen über zwei Drähte wickelt, deren Entfernung der gewünschten Drahtlänge entspricht und an den Biegungen zerschneidet. Zur Zusammenfügung der Drähte bieten sich verschiedene Möglichkeiten. Das gebräuchlichste Verfahren ist Zusammenschweißen in Gebläseflammen. Abb. 62 zeigt einen geeigneten Brenner mit zwei radial gerichteten Düsen. Die nadelförmigen Stichflammen bilden an ihrem Treffpunkt eine intensive Flammenschneide. Das Schweißen geschieht nun in der Weise, daß das eine Ende des Kupferdrahtes zu einer kleinen Kugel geschmolzen und der Platindraht in dieselbe hineingesteckt wird. Die Kugel wird dann zu einem ovalen Knötchen ausgezogen, da beim Einschmelzen in dem Glas sonst zu große Spannungen entstehen, welche leicht zu Brüchen führen. Dann wird die Nickelelektrode mit dem Platindraht in der Weise verbunden, daß das Platin zur Weißglut erhitzt und schnell mit dem Nickeldraht vereinigt wird. Das Schweißen erfordert Übung und große Sorgfalt.

Die von Hand geschweißten Knoten fallen oftmals ungleichmäßig aus. Zuweilen stehen sie sogar neben dem Draht und wirken alsdann bei Ausdehnungen gleich einer Achsel und verursachen Fußsprünge.

Die Glühlampenbedarf G. m. b. H., Berlin-Treptow, hat vor kurzer Zeit die wichtige Aufgabe



Abb. 62.

gelöst, eine vollkommen automatisch arbeitende Elektroden-schweißmaschine zu konstruieren. Die Maschine schweißt Platin- oder Platinersatzdraht (Einschmelzdraht) zwischen zwei Kupferdrähten oder zwischen einem Kupferdraht und einem Nickeldraht mittels Wasserstoff und Sauerstoff. Sie leistet 12 000 bis 15 000 geschweißte Drähte in der Stunde und benötigt zum Antrieb  $\frac{1}{3}$  PS. Der Gasverbrauch ist ein minimaler. Wie der Verfasser sich überzeugen konnte, sind die mit der Maschine erzielten Ergebnisse hervorragend.

Bei dem weniger kostbaren Ersatz-einschmelzdraht macht man auch die ganzen Stromzuführungsdrähte oder nur die Einschmelzdrähte und Elektroden aus einem einzigen Stück.

Die Drähte können auch auf elektrischem Wege geschweißt werden, indem man zwischen den Enden einen kleinen Lichtbogen erzeugt, welcher dieselben auf Schmelztemperatur bringt, oder indem man die Drähte einfach zur Berührung bringt, so daß beim Durchgang des Stromes der hohe Widerstand an der Berührungsstelle die nötige Erhitzung hervorruft.

#### 4. Das Quetschen der Füße.

Das Einschmelzen der Stromzuführungsdrähte in den Teller und das Aufsetzen des Linsenträgers erfolgt in einem einzigen Arbeitsgang mit Hilfe von Fußquetschmaschinen. Eine solche Maschine (Fabrikat der Glühlampenbedarf G.m.b.H., Berlin) gibt Abb. 63 wieder, dazu die schematische Darstellung Abb. 64.

Ein in einem Kugellager leicht drehbarer Kranz trägt vier Quetschzangen *Z*. Der Amboß *a* einer solchen Zange dient zur Aufnahme des Lisenstabes, während das Tellerrohr kurz unterhalb seiner konischen Erweiterung von der durch Herunterdrücken der Taste *b* zu öffnenden Greifvorrichtung *c* festgehalten wird. Die beiden Zuleitungsdrähte

werden in die für sie vorgesehenen Aussparungen des Amboßes in der Weise eingesteckt, daß das Einschmelzdrähtchen beim

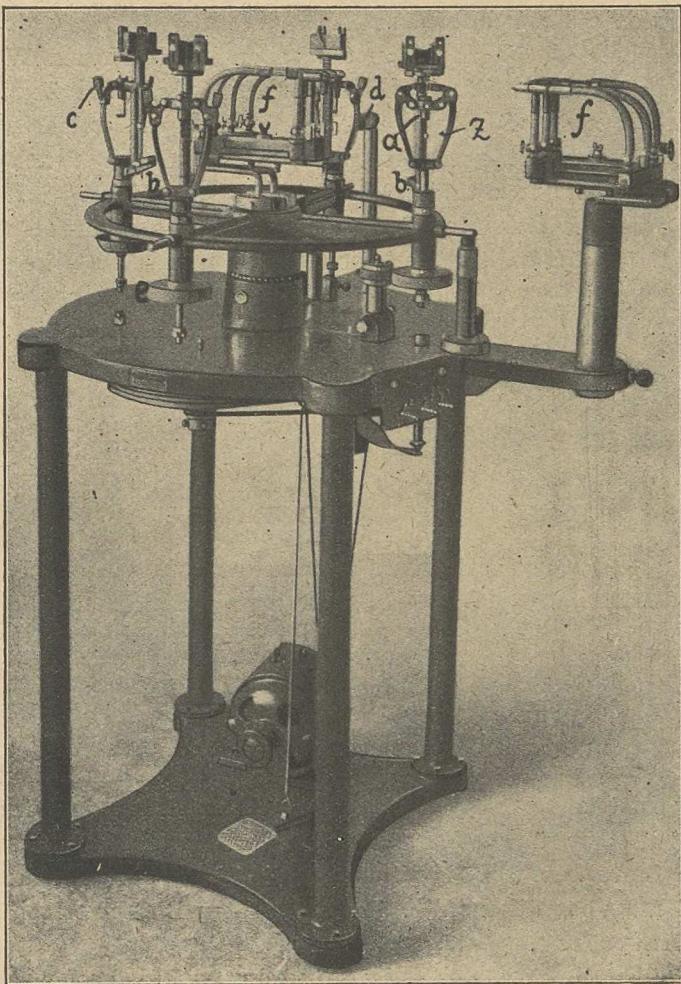


Abb. 63.

Quetschen des Füßchens durch die Backen *d* der Zange genau in der Quetschung liegen (vgl. Abb. 64).

Durch den in der Abbildung sichtbaren Elektromotor ( $\frac{1}{8}$  PS) wird das unter dem Tisch befindliche Räderwerk in Tätigkeit versetzt, welches zwei fest auf den Tisch montierte Friktionsräddchen antreibt.

Nachdem die Zange in der schon beschriebenen Weise beschickt worden ist, gelangt sie durch Drehung des Zangenkränzes in das Feuer des Vorwärmbrunnens *d*, welches den Teller vorwärmst, um ein Springen des Glases durch zu schnelles Erhitzen tunlichst zu vermeiden. Dabei wird die Zange durch eines der Friktionsräddchen *e* in Rotation versetzt. Durch weitere Drehung des Zangenkränzes kommt

die Zange in den Bereich eines meist vierfachen Kreuzfeuergebläses *f*. Die Arretiervorrichtung *g* sorgt dafür, daß der Tellerhals genau in den Schmelzraum des Gebläses kommt, während das zweite Friktionsräddchen die Zange abermals in Rotation versetzt. Sind das Füßchen und der Glasstab weich genug, so wird durch Herunterdrücken des Fußtrittes ein Zusammenschließen der Backen bei unterbrochener Rotation bewirkt, so daß die Zuleitungsdrähte fest in das weiche Glas eingedrückt werden. Um eine spätere Kontrolle zu ermöglichen, ist in jeder Zange eine Kontrollnummer eingeschnitten, welche sich in dem weichen Glase einprägt. Die Zange ist so eingerichtet, daß alle Teile verstellbar sind, damit die Maschine für alle Lampengrößen Verwendung finden kann.

Statt der amerikanischen Kreuzfeuer kommen heute fast nur noch die in Abb. 55 dargestellten Bornkesselgebläse in Anwendung.

Das Quetschen der Füße wird gewöhnlich von zwei Arbeiterinnen ausgeführt, welche in 8 Stunden etwa 1000 Füße fertigstellen.

Außer diesen vierteiligen Quetschmaschinen werden auch solche mit drei Zangen ohne Vorwärmung und mit

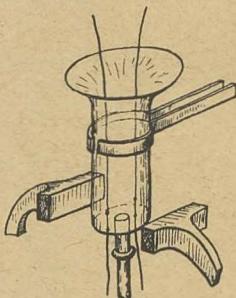


Abb. 64.

sechs Zangen und zwei Vorwärmbrünnern hergestellt, welche die oben beschriebenen an Wirtschaftlichkeit jedoch keineswegs übertreffen.

Es empfiehlt sich, zur langsamten Abkühlung der Füßchen eine heizbare Asbestrinne oder sonstige geeignete Vorrichtungen aufzustellen.

Um Verwechslungen vorzubeugen, werden die Füße an der Quetschung beschriftet, und zwar werden meistens Kerzenstärke und Spannung angegeben.

Abb. 65 zeigt einen Schnitt durch ein fertiges Füßchen.

## 5. Anfertigung der Halterdrähte und Aufmontieren des Glühdrahtes.

Die Halterung des Glühdrahtes in der Lampe geschieht jetzt fast ausnahmslos in der Weise, daß man für den unteren Stern feste Drähte in Haken- oder Schleifenform (Abb. 66) aus Nickel, Kupfer oder Eisen wählt, während die oberen Halter aus dünnen, federnden Häkchen bestehen. Durch diese Anordnung wird erreicht, daß der lange Glühdraht in einer kleinen, gefälligen Glashölle unterzubringen ist, daß die Lampe vor allem in jeder beliebigen Lage gebrannt werden kann. Die Federung der oberen Halter erlaubt die beim Brennen nach und nach eintretende Verkürzung des Leuchtdrahtes und hält ihn bei Erschütterungen der Lampe stets genügend gespannt.

Da die oberen Halter sehr dünn sind und infolgedessen durch den glühenden Leuchtdraht eine starke Erhitzung erfahren, müssen sie aus sehr schwer schmelzbarem Material bestehen. Als solches hat sich das Molybdän außerordentlich gut bewährt und wird heute in der Tat fast ausnahmslos verwendet.

Das Biegen und Schneiden der starren Halterdrähte mit Schlingen geschieht u. a. in der Weise, daß man den

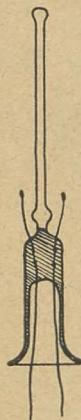


Abb. 65.

Draht fortlaufend nach dem in Abb. 66 dargestellten Schema über Stäbchen vom Durchmesser der zu erzeugenden Schleifen

wickelt, welch erstere in gleichen, der Länge der herzustellenden Drähte entsprechenden Abständen auf einem drehbaren Gestell befestigt sind. Die Drähte werden dann bündelweise je einmal zwischen zwei Stäben in der Nähe der Wicklung zerschnitten.

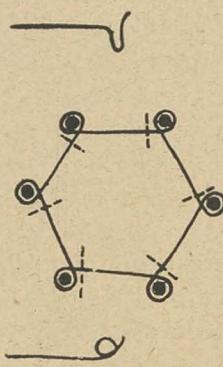


Abb. 66.

Die Halterdrähte mit Schlingen können auch mit Maschinen angefertigt werden. Abb. 67 zeigt eine Maschine der Glühlampenbedarf G. m. b. H. für Drähte von einem Durchmesser von 0,07 bis 0,15 mm. Für die federnden Hän-

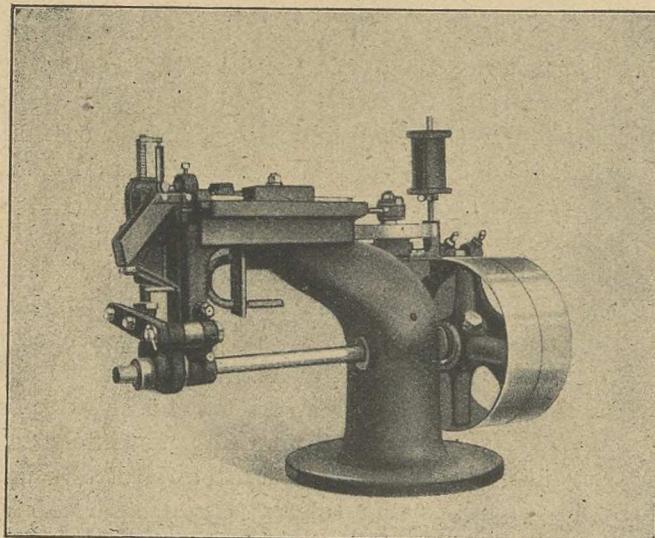


Abb. 67.

chen, welche mit ganz ähnlichen Maschinen hergestellt werden können, verwendet man Drähte von 0,04 bis 0,07 mm Durchmesser.

Vielfach ist der Molybdändraht so brüchig, daß er sich nicht ohne weiteres zu Hækchen verarbeiten läßt. Derselbe muß dann vorher ausgeglüht werden, indem man ihn von einer Spule auf eine andere wickelt und inzwischen durch das Feuer eines Gebläsebrenners mit vielen, in einer Reihe angeordneten Düsen gehen läßt.

Das Einsetzen der Träger in die Linsen des Glasstabes ist vielfach Handarbeit. Mit einem feinen Gebläse werden die Linsen und die einzuschmelzenden Enden der Halter erhitzt, und die Drähtchen in das weiche Glas hineingeschoben. Dabei ist selbstverständlich darauf zu achten, daß sich die Halter in der Linse nicht berühren. Der untere Halterkranz erhält einen Draht weniger als der obere.

Zum Einsetzen der Halter in die Linsen sind verschiedene Maschinen konstruiert worden, welche in den größeren Glühlampenfabriken Verwendung finden.

Im Jahre 1912 hat sich die A. E. G. Berlin eine Maschine schützen lassen (D. R. P. 262 929), welche nicht nur das Schneiden, Biegen und Einsetzen der Halter vornimmt, sondern gleichzeitig auch die Linsen selbst erzeugt. Die Maschine bedeutet also eine ganz wesentliche Vereinfachung der Fabrikation. Folgendes sind die Konstruktionsprinzipien der Maschine.

Die Abb. 68 und 69 veranschaulichen das Einschmelzen der feinfühligen Halter am oberen Ende des Mittelträgers. Sämtliche Halterdrähte *a* eines Sternes werden gleichzeitig eingeschmolzen. Die Drähte werden direkt von der Spule *g* verarbeitet, und zwar sind radial um eine Einschmelzvorrichtung so viele Greifer *d* angeordnet, als Halterdrähte eingeschmolzen werden sollen. Die Greifer sind derart mit dem Getriebe der Maschine verbunden, daß sie die Drähte packen und dann konzentrisch bis auf eine Entfernung sich nähern, daß die Drähte genügend weit in den Einschmelzraum eingeführt werden. Alsdann wird der inzwischen an seinem unteren Ende geschmolzene Glasstab nach unten gegen die

Begrenzung *e* gepreßt, worauf die Klemmen die Drähte loslassen und konzentrisch auseinandergerückt werden. Die obere Figur der Abb. 68 zeigt die Halter *a* in der Lage, die sie nach dem Einschmelzen möglichst beibehalten sollen. Die Einschmelzung erfolgt um so günstiger, je mehr das Glas erweicht ist. Tritt jedoch, wie in dem mittleren Bild der Abb. 68 gezeigt ist, durch das Hineinpressen der Glasmasse eine Abbiegung der Drähte ein, so erfolgt dieselbe in Richtung des Druckes, so daß die Drähtchen in der Perle nicht zur Berührung kommen. Dabei sind dieselben immer noch genügend von Glas umhüllt. In Abb. 69 ist eine Vorrichtung darge-

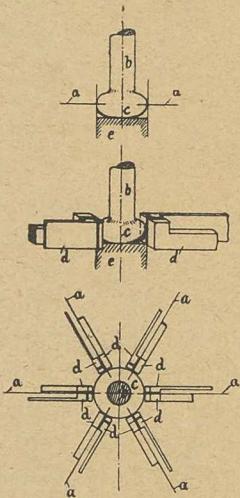


Abb. 68.

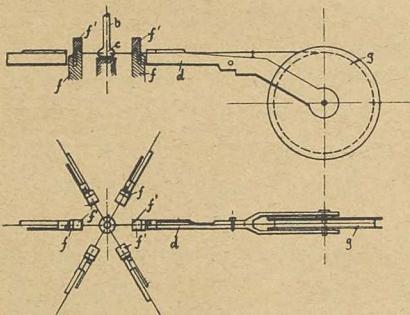


Abb. 69.

stellt, welche die eingeschmolzenen Halterdrähte abschneidet und zu Hækchen biegt. Für jeden Halterdraht sind zwei Backen *f* und *f'* vorgesehen, welche passend gebogen und mit Schneiden versehen sind. Während der Bewegung der Klemmen *d* befindet sich die eine dieser Backen unterhalb, die andere oberhalb des Halterdrahtes. Nach dem Auseinanderrücken der Klemmen werden sie durch das Getriebe der Maschine gegeneinander bewegt, wodurch der Draht abgeschnitten und in die dem Backenprofil entsprechende hakenförmige Gestalt gebogen wird (siehe Abb. 69 oben). Als dann weichen die Backen wieder auseinander, und das Spiel

beginnt von neuem. Der Halterdraht ist auf Rollen *g* untergebracht, welche in den Greifern *d* leicht drehbar eingelegt sind. Da die Spitze des Halterdrahtes im Glaskopf festgehalten wird,wickelt er sich während des konzentrischen Auseinanderrückens der Klemmen von jeder Rolle selbsttätig ab. Um das fertige Traggestell bequem herausnehmen zu können, wird der Glasstab *b* nach dem Auseinanderweichen

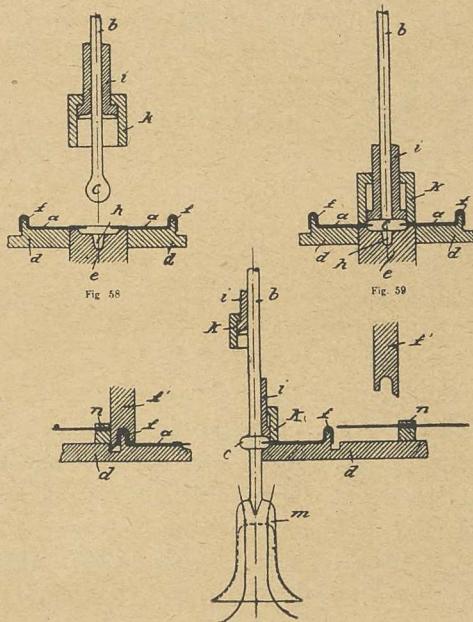


Abb. 70.

der Backen *f f'* um einen kleinen Winkel um seine Längsachse gedreht, so daß der Halter eine freie Lage einnimmt, worauf das Fadengestell in Richtung seiner eigenen Achse ungehindert herausgenommen werden kann.

Das Einschmelzen der dickeren Drähte in die untere Glasperle kann entweder vor oder nach dem Verschmelzen mit dem Füßchen erfolgen. Die erstere Methode ist in Abb. 70 oben und die letztere in Abb. 70 unten dargestellt. In beiden Fällen

wird die Linse durch Herunterdrücken des Stempels auf den geschmolzenen Teil des Glasstabes gegen die untere Begrenzung erzeugt. Dadurch wird eine große Gleichmäßigkeit des Fabrikats erzielt. Gleichzeitig wird bei dem ersten Verfahren gemäß Abb. 70 oben ein Ansatz *h* erzeugt, welcher hernach mit dem Füßchen verschmolzen wird. Der aus den konzentrischen Teilen *i* und *k* bestehende Stempel wird von dem Getriebe der Maschine so bewegt, daß sich zunächst der äußere, ringförmige Teil *k* auf die Begrenzung *e* auflegt und erst dann der innere, den Glasstab *b* umschließende Teil *i* gegen die geschmolzene Glasmasse gedrückt wird.

Bei den dickeren Drähten muß zur Vermeidung des Herausreißens der Halterdrähte aus dem Glasknopf oder des Abbrechens das Abschneiden und Biegen der Halterdrähte vor dem Einschmelzen erfolgen. In Abb. 70 unten ist links die Periode des Drahtschneidens und rechts die Periode des Einschmelzens dargestellt. Die Anordnung der Backen geht aus der Figur genügend hervor.

Eine andere Maschine wurde der Firma Kremensky, Wien, durch das Patent 281468 vom Jahre 1913 geschützt. Die Maschine ist in Abb. 71 in Grund- und Aufriß, zum Teil im Schnitt dargestellt. Auch mit dieser Maschine werden sämtliche Halter eines Sternes gleichzeitig eingeschmolzen. I, II und III sind an einem drehbaren Kranz 16 befestigte Zangen, deren Klemmbacken 14 und 15 zur Aufnahme der Mittelstützen dienen. Bei II wird ein Glasstäbchen, event. bereits mit Füßchen versehen, in die Zange eingesetzt, bei III wird die Linse vorgewärmt und in der Achse des ringförmigen Gestelles 1 werden die Halter eingeschmolzen. Die nötige Anzahl Halterdrähte wird von Vorratsspulen 6 durch je einen radial geführten Schieber 2 geleitet, welcher in Abb. 72 im lotrechten radialen Schnitt und in Draufsicht besonders dargestellt ist. Über den Schiebern befindet sich eine um die Achse des Gestelles drehbare Scheibe 10, welche mit Kurvenschlitz 11 versehen ist. An den Schiebern sind Zapfen 12 befestigt, welche in die Schlitze eingreifen, so daß

durch Drehung der Scheibe 12 mittels des Griffes 18 die Schieber radial hin und her bewegt werden können.

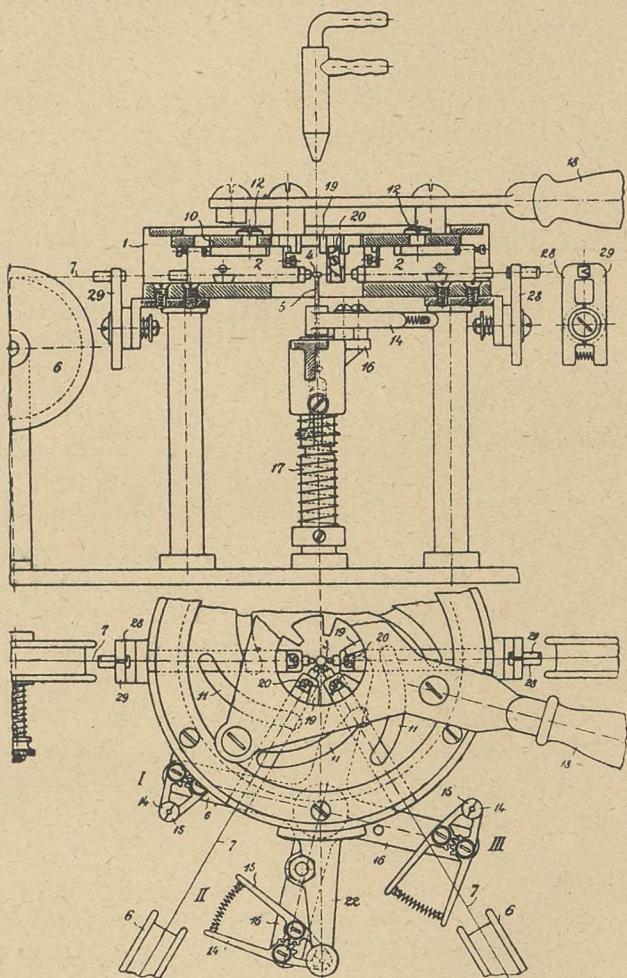


Abb. 71.

Die Zapfen 12 sind an Platten 13 angebracht, welche in den Schiebern 2 in radialer Richtung einen toten Gang haben und an den beweglichen Klemmbacken 8 angreifen. Werden

die Zapfen 12 gegen die Achse des Gestelles verschoben, so wird zunächst nur die Platte 13 mitgenommen und dabei die beweglichen Klemmbacken *a* gedreht, daß sie den zwischen ihnen und den festen Backen 9 hindurchgehenden Halterdraht 7 festklemmen. Hierauf stoßen die Platten gegen feste Teile des Schiebers und nehmen diese samt dem Halterdraht mit und stoßen denselben in die von einem Gebläse erweichte Linse ein. Vor Beendigung der Drehung der Scheibe 10, wenn die Enden der Drähte bereits in der Linse sind, treffen Anschläge 19 gegen Messer 20, worauf diese das Abschneiden der Drähte bewirken. Die Anschläge sind an der Scheibe 10, die Messer an den Schiebern befestigt.

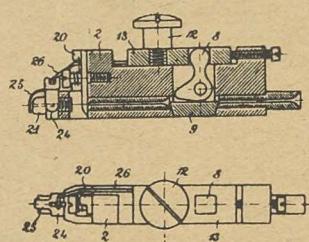


Abb. 72.

Hierauf wird die Scheibe 10 mittels des Griffes 18 wieder zurückgedreht. Dabei gehen die Messer zurück und die Platten 13 werden so vorgeschoben, daß die Klemmung der Halterdrähte aufgehoben wird. Alsdann gehen die Schieber zurück, während die Drähte in Ruhe bleiben. Nunmehr

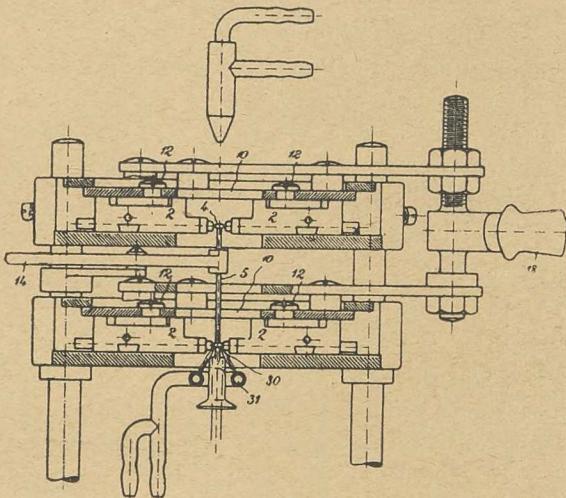
wird der Zangenkranz herumgedreht, so daß der Stern bei I auskühlen kann, um nach der nächsten Drehung bei II gegen ein neues Stäbchen vertauscht zu werden.

Die Maschine kann gemäß Abb. 73 abgeändert werden, daß die Halter gleichzeitig in die obere und in die untere Linse eingeschmolzen werden.

Die Halterdrähte müssen nachträglich zu Häkchen geformt werden, indem man die Drahtenden mit einem Stempel in eine passend geformte Matrize drückt.

Eine andere Maschine, welche ebenfalls zum Einschmelzen schlichter Drähte in die Linsen dient, ist H. Kuhlmann durch Patent 278 276 vom Jahre 1913 geschützt worden. Auf die Wiedergabe der Maschine soll wegen der Beschränktheit des Platzes verzichtet werden.

Bevor die Gestelle mit dem Leuchtdraht bespannt werden, müssen die Elektroden und die Halter mit einer Pinzette genau derart ausgerichtet werden, daß die oberen und unteren Halter gegenseitig auf Lücke stehen. (Vgl. Abb. 50, 9.)



Der Abstand der 3 mm starken Stifte entspricht genau dem Abstand der gegenüberliegenden Halter des Gestelles. Damit der Draht die gewundene Form dauernd beibehält, wird die bewickelte Schablone in einem mit einer indifferenten Atmosphäre erfüllten Ofen kurze Zeit auf etwa 1000 bis 1200° C erhitzt. Nach dem Abkühlen wird der Draht von der Schablone genommen. Beim Bespannen wird das eine Ende des Drahtes mit einer Zange in das hakenförmig gebogene flache Ende der einen Elektrode festgeklemmt, in den Biegungen fortlaufend in die Halter gelegt und das Ende des Drahtes an der anderen Elektrode festgeklemmt.

## 6. Das Lochen der Kolben und das Ansetzen der Stengel.

Während so der Innenteil der Lampe vollständig fertiggestellt wurde, ist auch der Glasballon soweit hergerichtet, daß beide Teile miteinander vereinigt werden können.

Die Lampenglocken, aus leicht schmelzbarem Glase bestehend, werden fertig von der Glashütte in mannigfaltigen Formen und Größen bezogen. Sie erfahren in der Glühlampenfabrik nur noch einige Umwandlungen, um sie zum Einschmelzen der Gestelle und zum Entlüften geeignet zu machen.

Zunächst werden sie einer gründlichen Reinigung unterzogen durch Waschen mit verdünnten Säuren und Nachspülen mit Wasser. Diese Arbeit geschieht zweckmäßig in automatischen Spülvorrichtungen. Nach dem Waschen und Trocknen wird an den Ballon ein Glasrohr, der Pumpstengel, angeschmolzen. Dazu muß der Scheitel der Birne mit einem Loch versehen werden, über welches hernach der Stengel angesetzt wird.

Abb. 75 zeigt links eine Lochmaschine der Firma Köppe, Berlin. Die Glocke wird einerseits durch den luftdicht abschließenden Gummiring *a* und andererseits von dem ringförmigen Eisen *b* festgehalten. Unterhalb der Glocke

befindet sich ein Gebläse *c*, welches die Mitte der Glaskuppe durch eine feine, spitze Flamme zum Erweichen bringt.

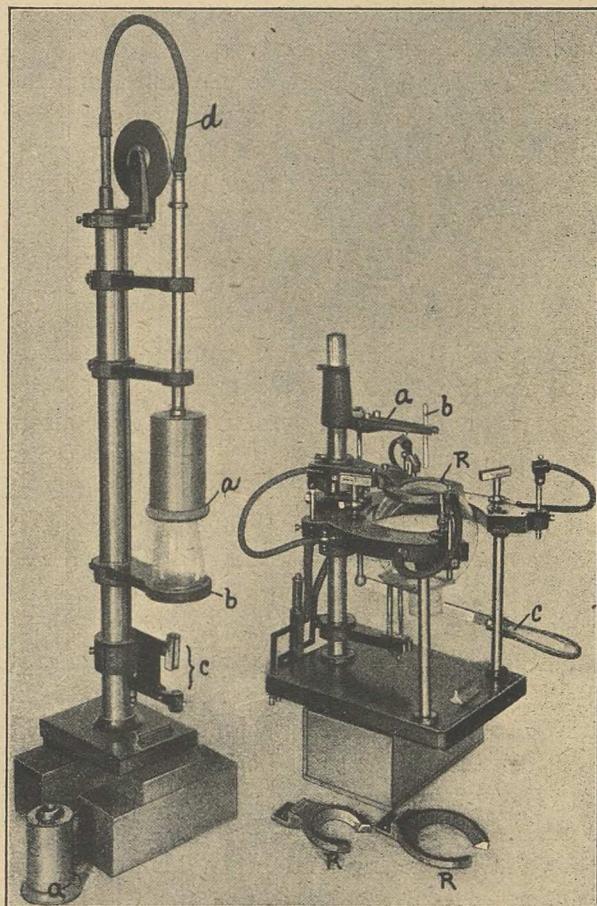


Abb. 75.

Hierauf wird der Ballon durch Preßluft, welche durch das Rohr *d* einströmt, unter Druck gesetzt, worauf das erweichte Glas nachgibt und eine kreisrunde Öffnung mit erhöhtem Rand entsteht.

Als Gebläse für die Lochmaschinen wird vielfach der in Abb. 76 dargestellte Bornkesselbrenner benutzt. Der selbe ist mit einem Flammenschutz versehen, welcher das Auslöschen der Flamme durch die aus dem gebildeten Loche ausströmende Preßluft verhindert.

Ist die Glocke fertig gelocht, so wird mit Hilfe eines Fußhebels der Tubus mit Gummiring emporgehoben, wodurch die Glocke freigegeben wird und durch eine neue ersetzt werden kann.

Jetzt wird die Glocke mit einem Pumpstengel versehen, und zwar entweder von Hand oder mit Hilfe von besonderen Stengelansetzmaschinen. (Abb. 75 rechts, Fabrikat der Firma Gebr. Köppe, Berlin.)

Der Kolben wird unten durch eine federnde Haltevorrichtung, welche beim Einsetzen heruntergedrückt wird und oben von einem Metallring *R* von entsprechender Weite derart festgehalten, daß das von einer Klemme *a* gehaltene Glasrörchen *b* sich genau senkrecht dicht über der Öffnung des Ballons befindet. Vier im Kreise angeordnete Gebläse erweichen abermals den Rand der Öffnung und gleichzeitig das untere Ende des Pumprohres. Dann wird durch Herunterdrücken des Hebels *c* das Rörchen mit der Birne verschmolzen und durch eine geringe Aufwärtsbewegung an der Schmelzstelle dünner ausgezogen. Diese Verjüngung des unteren Pumpstengels ist nötig, damit die Lampe später an dieser Stelle luftdicht und sauber abgeschmolzen werden kann.

Die beiden Maschinen zum Lochen der Kolben und Ansetzen der Stengel können von einer einzigen Arbeiterin bedient werden.

Tubus und Eisenring sind gegen kleinere und größere austauschbar, so daß die Maschinen für Glocken verschiedener Größe verwendbar sind. Abb. 77 gibt eine Maschine der Firma Arthur Pfeiffer, Wetzlar, wieder, mit welcher das Lochen der Kolben und das Ansetzen der Stengel in einem Arbeitsgang erledigt werden kann.

Das Einsetzen der Kolben erfolgt ähnlich wie in der zuletzt beschriebenen Maschine, während das Pumprohr in das

Klemmfutter *a* fest eingespannt wird. Ein dreifaches Gebläse erwärmt das Glas in der Mitte des Kolbens und den unteren Pumpstengel. Dieser wird mit Hilfe des Hebelwerkes *b* auf den Kolben herabgesenkt. Sind beide Teile

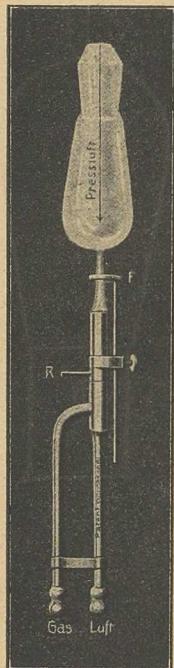


Abb. 76.

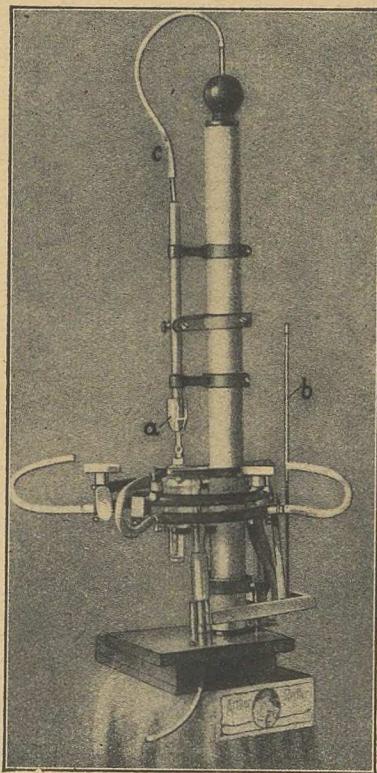


Abb. 77.

miteinander verschmolzen, so wird die Luft von einer Vakuumpumpe durch die Leitung *c* aus dem Röhrchen herausgesaugt und auf diese Weise die gewünschte Öffnung in der Glasbirne hergestellt. Darauf wird der Pumpstengel an seinem unteren Ende ebenfalls dünner ausgezogen.

## 7. Das Abziehen und Absprengen der Glocken.

Die Rohglocken werden in der Glashütte mit einem bedeutend längeren Hals geblasen, als die fertigen Lampen ihn zeigen, und zwar endigt der Hals in einem verjüngten Teil, welcher die Einführung des Lampeneinbaus und seine Ver-

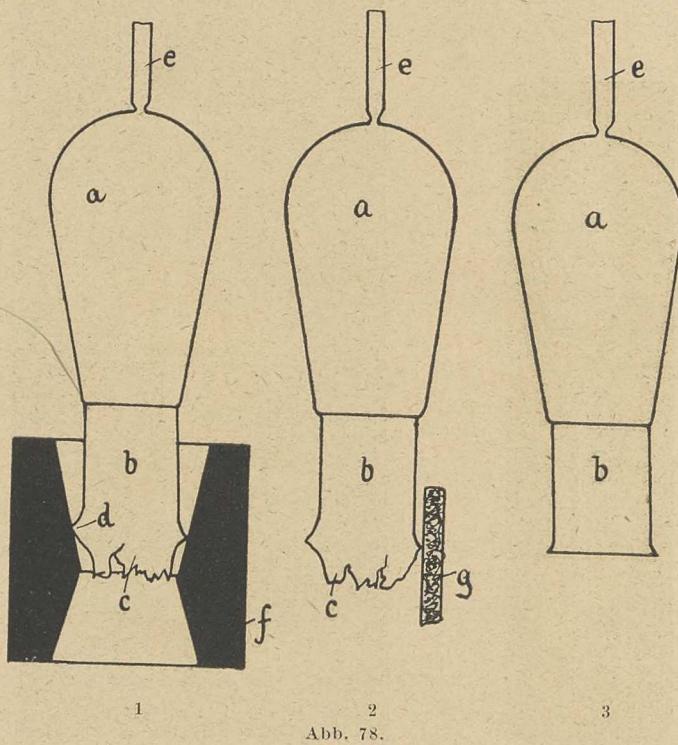


Abb. 78.

schmelzung mit der Glocke hindert. Der untere Teil des Kolbenhalses muß deshalb entfernt werden.

Zur Vornahme dieser Arbeit bieten sich verschiedene Möglichkeiten. Ein heute größtenteils verlassenes Verfahren ist das Abziehen der Kolben. Die Kolben werden in die Zange einer Abziehmaschine eingehängt. Der untere Teil des Halses wird mit einem Gewicht beschwert, die Glocke in Rotation versetzt und der Kolbenhals in entsprechender

Höhe so lange von einem Gebläsebrenner erwärmt, bis der untere Teil abfällt.

Ein vorteilhafteres Verfahren ist das Absprengen des Glockenhalses, welches viel Zeit und Gas erspart und daher gegenwärtig in erster Linie ausgeübt wird. Gemäß Abb. 78, 1 wird die Rohglocke *a* in einen konisch ausgedrehten, erhitzten Metallkörper gebracht. Oberhalb des verjüngten Endes *c* des Glockenhalses *b* befindet sich eine verbreiterte Zone, welche mit der heißen Wandung des Metallkörpers zur Berührung gebracht wird. Wie Abb. 78, 2 zeigt, wird dann der Hals an der erhitzten, breiteren Zone *d* durch Anlegen eines befeuchteten Abstreifers *g* aus Filz oder einem anderen geeigneten Material plötzlich abgekühlt, so daß das Glas ringsherum springt und die Glocke die in Abb. 78, 3 gezeigte Form erhält. Das Erhitzen kann durch ein Gasgebläse mit ringförmig angeordneten Düsen geschehen.

Es sei noch erwähnt, daß auch automatische Absprengmaschinen gebaut worden sind, welche sich jedoch nicht besonders bewährt haben sollen, und von deren Beschreibung abgesehen werden kann.

## 8. Das Verschmelzen von Lampeneinbau und Glocke.

Nunmehr ist alles soweit vorbereitet, daß das Verschmelzen des Füßchens mit dem Glockenhals erfolgen kann.

Der Vorgang beim Einschmelzen ist in Abb. 79, 1 und 2 veranschaulicht. Eine Einzel-Vertikal-Einschmelzmaschine der Firma Arthur Pfeiffer in Wetzlar zeigt Abb. 80. Zunächst wird das Füßchen des fertig montierten Lampeneinbaues auf die Spindel der Einschmelzmaschine gesetzt, welche denselben in senkrechter Lage festhält. Hierauf wird die Lampenglocke über den Einsatz gestülpt und in die Zange eingeschlagen. Der Lampenfuß befindet sich so hoch im Kolbenhals, daß der Glühkörper recht symmetrisch in der Glocke untergebracht ist. Während die Zange mit Glocke und Traggestell

rotiert, bringt das Kreuzfeuer den Kolbenhals in Höhe des unteren Tellerrandes zum Schmelzen. An der Einschmelz-

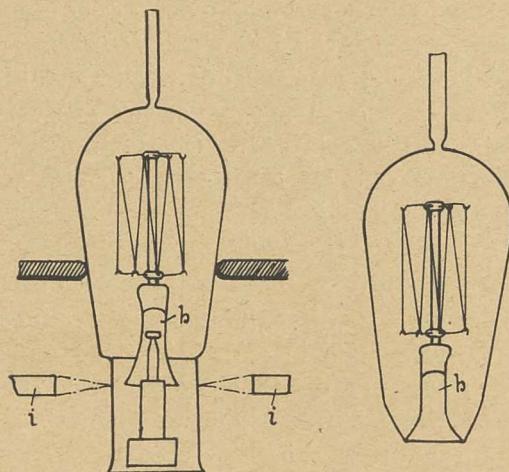


Abb. 79.

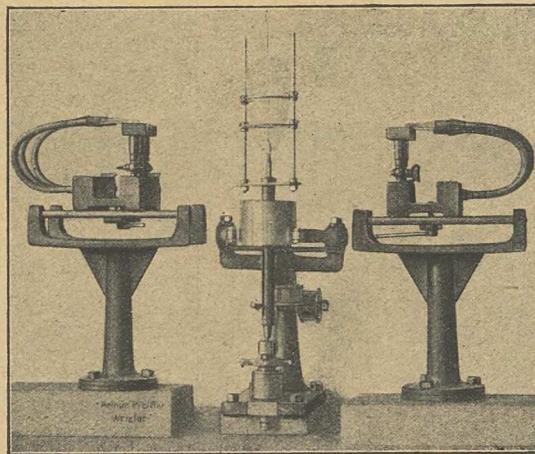


Abb. 80.

stelle wird der Lampenhals durch das Eigengewicht, bezw. durch ein angehängtes Gewicht in die Länge gezogen. Dabei zieht er sich soweit zusammen, daß er sich auf den eben-

falls erhitzten Tellerrand auflegt und Kolben und Füßchen miteinander verschmelzen, während der untere Teil des Glockenhalses abfällt.

Um das Springen des Glases zu vermeiden, ist es nötig, den Kolben vorerst in einem besonderen Vorwärmapparat anzuwärmen.

Ein wirtschaftlicheres Arbeiten gestatten solche Maschinen, bei denen mehrere Zangen auf einem drehbaren Kranz angeordnet sind. Eine vierarmige, von der Firma Gebr. Köppe, Berlin, hergestellte Einschmelzmaschine zeigt Abb. 81. Lampenglocke und Lampeneinbau werden in eine Zange eingesetzt. Hierauf wird der Kranz gedreht und die Zange gelangt in den Bereich eines Vorwärmgebläses und nach der nächsten Drehung in die Schmelzzone eines Kreuzfeuergebläses. Nach erfolgter Einschmelzung wird der Dorn in der Weise auf- und abbewegt, daß an der Einschmelzstelle eine zum späteren Anbringen der Sockel nötige Einschnürung erzeugt wird. Nunmehr wird die Birne aus der Zange herausgenommen und das Traggestell in der Lampe ausgerichtet, solange die Schmelzstelle noch weich ist. Das Ausrichten geschieht mit einem Holzstab, welcher in das Tellerrohr eingeführt wird.

Um zu verhindern, daß an der Einschmelzstelle im Glase Spannungen entstehen, muß man für eine langsame Abkühlung der Lampen Sorge tragen. Man stellt Apparate auf, welche zur Aufnahme der Lampen mit zahlreichen, in einer drehbaren Platte hängenden Asbesthütchen ausgerüstet sind. Diese werden längs einer gewissen Strecke erhitzt und kühlen infolge der Weiterdrehung der Platte allmählich aus.

Abb. 82 zeigt einen Apparat, mit dessen Hilfe das Glas auf Bruchgefahr geprüft werden kann. In den Kasten sind zwei gekreuzte Polarisatoren eingebaut. Durch die in der Abbildung sichtbare Mattscheibe fällt Tageslicht oder das Licht einer Glühlampe. Man bringt die zu untersuchenden Gegenstände zwischen die gekreuzten Polarisatoren und be-

obachtet sie durch ein Okular. Schlecht gekühlte Stellen verraten sich durch lebhafte Färbung.

Vor dem Auskühlen pflegt man durch die Lampen einen

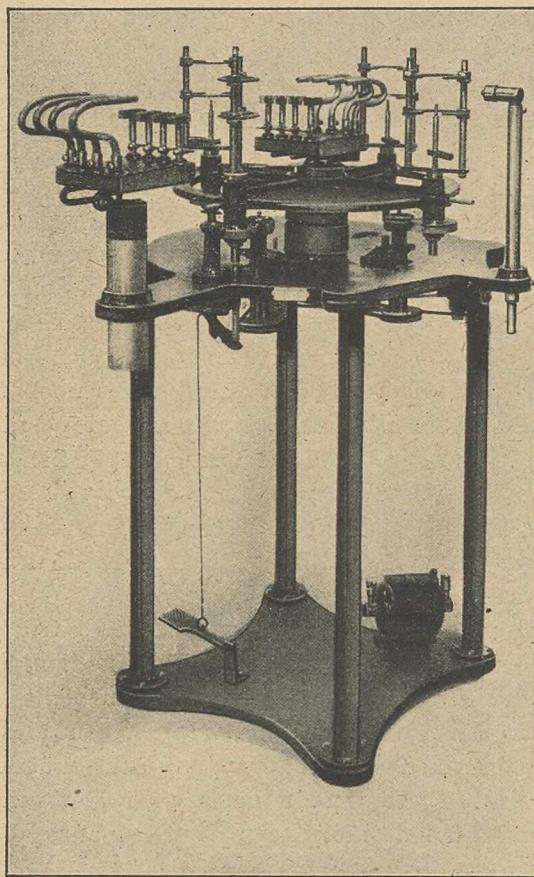


Abb. 81.

trockenen Luftstrom zu blasen, um die Wasserdämpfe möglichst zu entfernen.

Außer den vierarmigen werden auch sechsarmige Einschmelzmaschinen verwendet, welche mit zwei Vorwärm-

gebläsen ausgestattet sind. Doch dürften sie infolge des erhöhten Gasverbrauches vor den ersteren an Rentabilität kaum etwas voraus haben.

Zur Erleichterung der Einschmelzarbeit können die Einschmelzmaschinen mit folgender Einrichtung ausgerüstet werden. Die Spindel ist rohrförmig ausgestaltet und am oberen Ende unmittelbar unterhalb des erweiterten Füßchenrandes ringsherum mit Öffnungen versehen. Im gegebenen Moment wird die Spindel unten mit einer Druckluftleitung in Verbindung gesetzt und gegen den vorher er-



Abb. 82.

weichten Glühlampenhals ein kräftiger Luftstrom geblasen, bis das Glas so dünn wird, daß der untere Teil des Halses sich ablöst und herunterfällt.

Die A. E. G. in Berlin gibt ein Verfahren an<sup>1)</sup>, welches eine nicht unwesentliche Vereinfachung des Fabrikationsganges ermöglicht. Die Firma läßt die Glühlampenglocken in der Glashütte statt mit dem üblichen verjüngten Hals mit einem schweren Wulst herstellen, dessen Innendurchmesser genügend groß ist, um den Lampenfuß mit Traggestell ohne vorherige Bearbeitung der Glocke in diese einführen zu können. Dadurch wird das Absprengen der Glocken und der

<sup>1)</sup> D. R. P. 305 335 vom 24. August 1917.

dabei durch Bruch immerhin eintretende Verlust vermieden. Beim Einschmelzen erleichtert der schwere Wulst das Abziehen des Halses, so daß die Arbeitszeit verkürzt wird und das Anhängen eines Gewichts nicht mehr nötig ist.

## 9. Das Entlüften der Lampen.

Bereits im ersten Abschnitt wurde darauf hingewiesen, daß schon außerordentlich geringe Mengen von Gasen, besonders von Wasserdämpfen innerhalb der Glocke die Glühlampe vorzeitig zerstören. Auf das Evakuieren der Lampen ist deshalb ganz besondere Sorgfalt zu verwenden. Die benötigte Apparatur ist verhältnismäßig recht kompliziert und empfindlich, und es lassen sich hier im Gegensatz zu den meisten anderen Arbeiten nur mit einem geschulten Personal bei sorgfältiger Überprüfung befriedigende Resultate erzielen.

### a) Hochvakuumpumpen.

Das Entlüften der Lampen erfolgt mit Luftpumpen, und zwar kommen nur solche Pumpen in Frage, welche in bezug auf den Grad der zu erreichenden Verdünnung die größte Leistungsfähigkeit aufzuweisen haben.

Während man sich früher fast ausschließlich der rotierenden Hochvakuum-Quecksilberluftpumpen bediente, haben sich heute neben diesen auch die rotierenden Ölluftpumpen und die Diffusionspumpen als sehr brauchbar eingebürgert.

Die rotierenden Quecksilberpumpen sind in mehreren Typen auf dem Markt. Die bekannteste ist ohne Zweifel die Gaedepumpe. Abb. 83 zeigt eine derartige von der Firma A. Leybold Nachf., Köln, hergestellte Pumpe in Ansicht, während Abb. 84 den Vertikalschnitt durch die Achse und Abb. 85 einen vertikalen Querschnitt darstellen.

Das Prinzip der Pumpe ist kurz folgendes: Das zylindrische nach vorn durch eine Glasplatte *B* verschlossene gußeiserne Gehäuse *G* ist bis zum Niveau *q* mit Quecksilber gefüllt. Im Innern des Gehäuses befindet sich eine um die mit

Quecksilber abgedichtete horizontale Achse A, drehbare Trommel *T*, welche nach vorn und hinten durch ebene Böden begrenzt ist. Von der durch das Quecksilber gegen das Gehäuse abgeschlossenen Vorkammer *V* der Trommel führt das ebenfalls mit Quecksilberdichtung versehene Rohr *R* durch die Glaswand zu den zu entlüftenden Lampen. Die Trommel hat nun die Aufgabe, die Luft von der Vorkammer in den

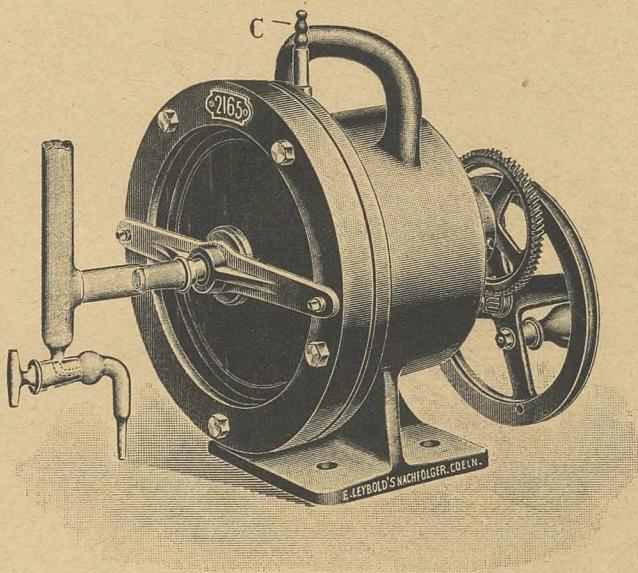


Abb. 83.

zwischen Trommel und Gehäuse *G* liegenden Raum zu befördern.

Wie die Pumpwirkung zustande kommt, zeigt Abb. 85. Die die Trommel umgebenden Kanäle sind nicht wie in Wirklichkeit nebeneinander, sondern schneckenförmig gezeichnet, damit sie in die Ebene der Zeichnung fallen. Durch Drehen der Trommel in der Pfeilrichtung füllt sich Raum  $W_1$  durch die Öffnung *f* mit Luft aus der Vorkammer. Bei fortgesetztem Drehen kommt die Kammer  $W_1$  an die Stelle der mit  $W_2$  bezeichneten und die Öffnung *f* taucht

unter den Quecksilberspiegel. Die Luft in dem auf diese Weise vom Rezipienten abgeschlossenen Raume  $W_2$  wird in den zwischen den Scheidewänden  $Z_1$  und  $Z_2$  liegenden peripheren Kanal der Trommel gedrängt und bei fortgesetzter Rotation in den zwischen Trommel und Gehäuse liegenden Raum befördert. Von hier wird die Luft durch eine bei  $s_2$

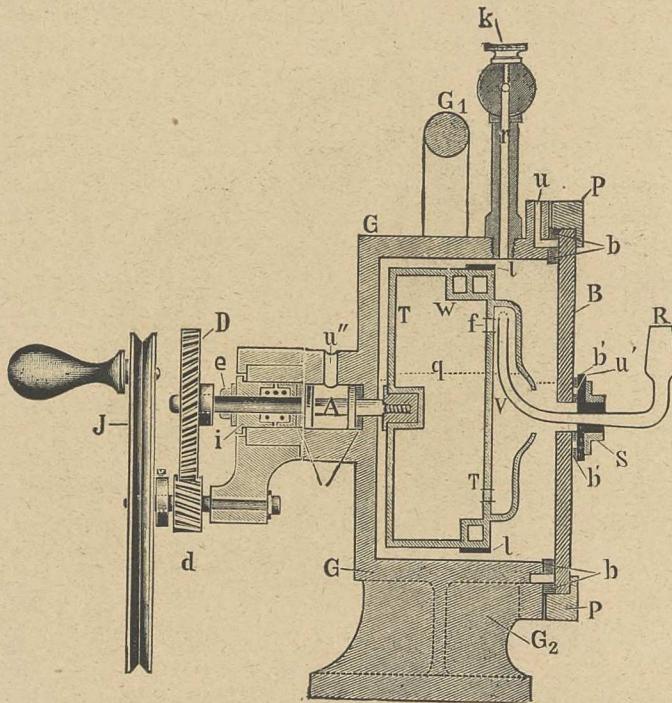


Abb. 84.

angeschlossene besondere Vorvakuumpumpe abgesaugt. Bei Pumpen für technische Betriebe ist der Stahlausatz  $r$  durch einen einfachen Rohrstutzen  $C$  (Abb. 83) ersetzt.

Die Trommeln sind entweder aus Metall oder aus Porzellan gefertigt. Während die Metalltrommeln sich nicht so gut reinigen lassen, haben die Porzellantrommeln den Nachteil, daß sie leicht zerbrechlich sind. Ist die Leitung beschädigt oder eine Glocke zersprungen, so dringt das Queck-

silber infolge des hohen Luftdruckes mit Gewalt in die Trommel ein. Um bei den Porzellantrommeln in solchen Fällen ein Zertrümmern zu verhindern, sind dieselben mit einer Ventilvorrichtung versehen, welche aus einer Reihe durch ein Gummiband  $l$  (Abb. 84) verschlossener Öffnungen in der zylindrischen Wandung besteht. Sehr gut bewährt

haben sich auch die von der Firma Arthur Pfeiffer in Wetzlar hergestellten, mit Emailleüberzug versehenen Stahltrömmeln.

Eine andere von Dr. Gaede erfundene Hochvakuum-

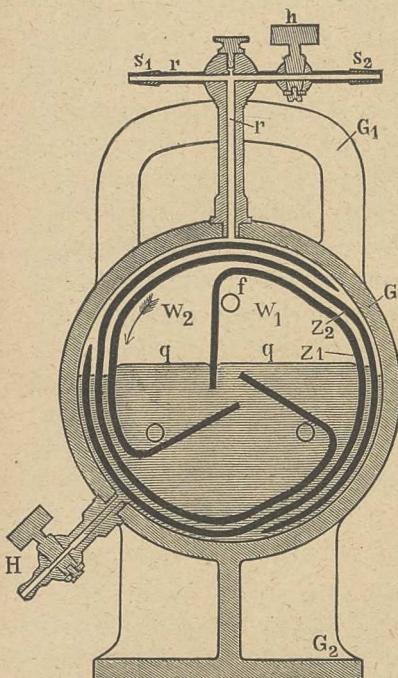


Abb. 85.

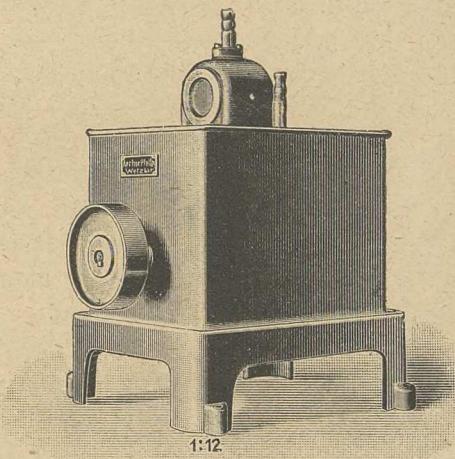


Abb. 86.

pumpe ist die Molekularpumpe. Obwohl dieselbe in ihrer qualitativen und quantitativen Leistungsfähigkeit den Quecksilberpumpen weit überlegen ist, wird sie ihrer Empfindlichkeit wegen in der Glühlampenfabrikation doch nur ganz vereinzelt angewandt.

Hingegen haben die rotierenden Hochvakuumölluftpumpen in der Glühlampenfabrikation weitere Verbreitung gefunden. Abb. 86 zeigt eine Pumpe der Firma Arthur

Hevers, Elektr. Glühlampen.

Pfeiffer, Wetzlar. In dem quaderförmigen Metallgehäuse befindet sich der eigentliche Pumpenkörper, dessen Achse durch das Gehäuse hindurchführt und die sichtbare Antriebsscheibe trägt. Der Pumpenkörper ist hohlzylindrisch ausgedreht und in dem Hohlzylinder läuft exzentrisch ein rasch rotierender, mit der Achse verbundener Zylinder, welcher die Wandung des ersten berührt. Der umlaufende Zylinder enthält mehrere Schieber, welche durch Federkraft gegen die Wände des Hohlzylinders gepreßt werden und den letzteren in mehrere bewegliche Kammern teilt. In den Hohlzylinder münden die Saug- und Auspuffrohre der Pumpe. Der quaderförmige Kasten und das Pumpeninnere sind mit Öl gefüllt. Das erreichbare Vakuum ist ca. 0,01 und mit einem Vorvakuum ca. 0,00015 mm Hg. Zwei solcher Pumpen lassen sich derart zu einem Aggregat vereinigen, daß die eine als Vorvakumpumpe und die andere als Hochvakumpumpe fungiert.

Eine neue zuerst von Gaede<sup>1)</sup> im Jahre 1915 angegebene Pumpe ist die Diffusionsluftpumpe, welche sich dank ihrer vorzüglichen Eigenschaften in die Glühlampenindustrie immer weiteren Eingang schafft.

Zur Erläuterung sei zunächst folgender einfachster Diffusionsversuch angeführt.

Bringt man in ein Becherglas *B* (Abb. 87) einen verschlossenen Zylinder *Z* aus porösem Ton, wie er in galvanischen Elementen benutzt wird, und leitet durch *A* Kohlensäure in das Glas, so suchen sich Kohlensäure und Luft durch die Wände der Zelle zu einem einheitlichen Gemisch zu durchdringen, und zwar nicht als Folgeerscheinung der Schwerkraft, sondern auf Grund der Molekularbewegungen der Gase selbst. Nun diffundieren leichte Gase schneller durch enge Öffnungen als schwerere, infolgedessen dringt die Luft schneller durch die poröse Tonwand nach außen, als die Kohlensäure hineingelangen kann. Dadurch entsteht innerhalb der Zelle ein Unterdruck, und das Wasser steigt in dem Rohr in die Höhe.

<sup>1)</sup> Ann. d. Phys. 1915 Bd. 46.

Wie diese Erscheinungen in den Diffusionspumpen praktisch zur Erzeugung einer kontinuierlichen Saugwirkung ausgenutzt werden, zeigt Abb. 88. Statt der Kohlensäure wird Quecksilber genommen wegen der außerordentlich geringen Spannkraft des Quecksilberdampfes bei Zimmertemperatur. Das Quecksilber befindet sich bei  $Q$  und wird durch einen Bunsenbrenner zum Verdampfen gebracht. Die feinen Poren der Tonzellen sind ersetzt durch einen schmalen, ringförmigen Diffusionsspalt  $e$ . Die innere Wandung des Diffusionsspaltes wird durch einen Kühler  $d$  und die

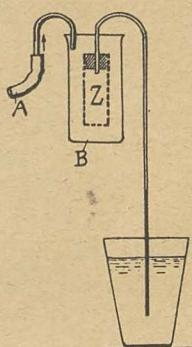


Abb. 87.

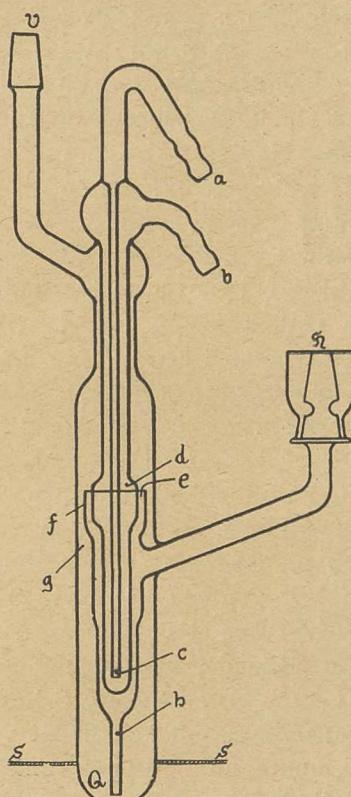


Abb. 88.

äußere durch einen Trichter  $f$  gebildet. Der Trichter wird mit den bei  $H$  anzuschließenden Glühlampen verbunden. Der von  $Q$  kommende Quecksilberdampf strömt durch den vom Trichter  $f$  und der äußeren Pumpenwand  $g$  gebildeten Spalt und führt die von  $H$  kommende durch den Diffusionsspalt  $e$  tretende Luft nach oben, wo sie durch eine bei  $V$  angeschlossene Vorvakuumpumpe abgesogen wird.

Das von *a* kommende Kühlwasser tritt bei *e* aus dem inneren Rohr in das äußere Rohr des Kühlers aus und fließt durch die Erweiterung des Kühlmantels bei *h* zum Ausfluß *b*. Das am Kühler kondensierte Quecksilber fließt durch das Röhrchen *h* zum Quecksilber *Q* zurück. *ss* ist ein Asbestschirm zum Schutz der Pumpe gegen Flammengase. Die Pumpe wird mit etwa 30 cem trockenen Quecksilbers gefüllt. Ist einmal das Quecksilber luftfrei gekocht, so ist die Sauggeschwindigkeit bis in das unmeßbar hohe Vakuum hinein stets gleich groß. Diese Eigenschaft gibt der Diffusionsluftpumpe im Vergleich zu den übrigen Hochvakuumumpumpen, bei welchen durchweg die Sauggeschwindigkeit bei den ganz niederen Drucken stetig abnimmt, eine große Überlegenheit.

Als zulässige oberste Grenze für den Druck des Vorvakuum betrachtet man 0,1 mm Quecksilbersäule. Wählt man den Druck größer, so nimmt die Saugleistung gleich sehr stark ab. Die Flamme muß um so stärker brennen, je größer der Druck des Vorvakuum ist. Wenn die Flamme das Glas direkt bespült, läßt man bei 0,1 mm Druck im Vorvakuum einen kleinen Bunsenbrenner voll brennen und erhält bei den Diffusionspumpen mit weitem Glasspalt eine Sauggeschwindigkeit von rund  $\frac{3}{4}$  l pro Sekunde. Bei 0,2 mm Druck im Vorvakuum stellt man die Flamme halb und erhält rund 2 l pro Sekunde, bei 0,002 mm Druck und etwa 2 em hoher Flamme bis zu 3 l pro Sekunde Saugleistung für Luft. Die Sauggeschwindigkeit hängt von verschiedenen Zufälligkeiten ab und kann daher nur annähernd angegeben werden. Diese Diffusionspumpe wird von der Firma E. Leybold's Nachfolger in Köln hergestellt.

Vor kurzer Zeit haben die Vereinigten Bornkesselwerke m. b. H. eine Diffusionspumpe auf den Markt gebracht, deren Körper zur Beseitigung der Bruchgefahr bei plötzlich eintretendem Eindringen von kalter Luft aus Quarzglas gefertigt ist. Die Pumpe ist in einem Metallmantel elastisch aufgehängt, um sie auch gegen Bruch durch Stoß u. dgl. nach Möglichkeit zu sichern.

Bei normaler Beanspruchung ist der Gasverbrauch etwa 0,2 cbm stündlich.

Als Beleg für die Brauchbarkeit der Diffusionspumpen gibt die Firma folgenden Versuch an:

Erzieltes Vakuum:	mit einer rotierenden Quecksilberpumpe	mit der Quarz-Stufenstrahlpumpe
0,004 mm	300 Sek.	80 Sek.
0,0001 ..	600 ..	100 ..
0,00001 ..	900 ..	120 ..

Die Pumpen hatten einen 6 l-Rezipienten bei einem Vorvakuum von 10 mm Quecksilbersäule zu entlüften.

Für den Betrieb sind ganz besonders Diffusionspumpen geeignet, welche vollständig aus Metall gebaut sind. In Abb. 89 ist eine eiserne Pumpe (System Stintzing) in Ansicht und Schnitt dargestellt, welche auch im Innern keinerlei zerbrechliche Teile enthält.

Die Pumpe wird bei  $q$  an eine Vorvakuumpumpe und bei  $r$  an die Hochvakuumleitung angeschlossen. In Raum  $a$  befindet sich das Quecksilber, welches durch einen kreisförmigen Gasbrenner  $v_3$  oder durch einen elektrischen Heizkörper zum Verdampfen gebracht wird. Der Dampfstrahl gelangt durch die Düse  $d$  und die Öffnung  $f$  in einen wassergekühlten Kondensationsraum  $e$ . Das kondensierte Quecksilber fließt durch die Kanäle  $g g$  in den Raum  $b$  und von hier durch das Rückflußrohr  $h$  in den Heizraum  $a$  zurück. Der Zufluß des Kühlwassers ist bei  $u_1$ , der Abfluß bei  $u_2$ .

Die Heizung wird mit Hilfe des Dampfdruckes im Heizraum  $a$  automatisch geregelt. Von  $a$  aus führen Barometerrohre  $i$  und  $k$  in Vorratsgefäß  $w_1$  und  $w_2$ , welche auch zur Einfüllung des Quecksilbers dienen und zum Abfüllen derselben mit Hähnen ausgestattet sind. In den Behälter  $w_2$  taucht das Gasrohr  $v$  ein. Je höher nun der Gasdruck in  $a$  steigt, um so mehr hebt sich das Quecksilberniveau in  $w_2$ . Bei einem bestimmten, jeweils einstellbaren Quecksilber-

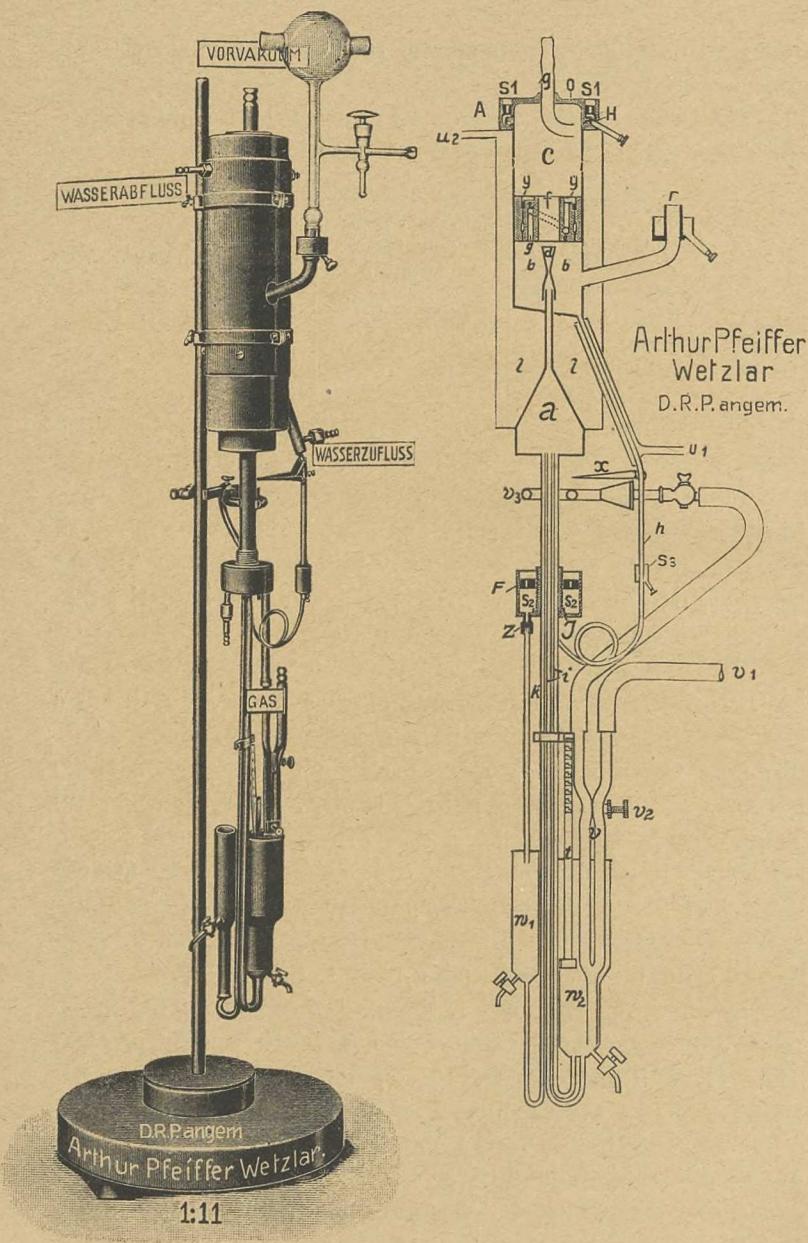


Abb. 89.

niveau wird dann die Gasleitung durch das Quecksilber automatisch verschlossen. Bei  $r_2$  vermittelt eine Stellschraube den Zutritt eines schwachen, kontinuierlichen Gasstromes für eine Zündflamme. Mit Hilfe des Schwimmers  $t$  kann der Dampfdruck an einer Skala zahlenmäßig festgelegt werden.

Die übrigen Einrichtungen dienen zur Zerlegung und Öffnung der Pumpe zwecks Reinigung oder Auswechselung der Düsen  $d$  oder Kanaleinsätze  $f$ , wodurch je nach Wunsch die quantitative Leistung auf Kosten der qualitativen oder die qualitative auf Kosten der quantitativen vergrößert werden kann.

Die Pumpe kann als Quecksilberdestillierapparat gebraucht werden. Die Verschraubungen  $S_3$  und  $Z$  werden dann gelöst.

Als Endvakuum wird ca.  $1/100000$  mm angegeben. Die Saugleistung beträgt 6 l in 5 Minuten auf ein Vakuum unter  $1/100000$  mm. Zur Heizung werden 5 l Gas pro Minute oder 600 Watt benötigt. In 5 Minuten ist die Pumpe betriebsbereit. Die Quecksilberfüllung beträgt 400 ccm. Die Pumpe ist mit Stativ 170 cm hoch.

### b) Vorvakuumpumpen.

Als Vorvakuumpumpen finden u. a. die Kolbenölluftpumpen, und zwar die zweistiefeligen, Anwendung. Dieselben zeichnen sich besonders durch ihre hohe quantitative Leistung, d. h. eine große in der Zeiteinheit geförderte Luftmenge aus, sie sind aber so gut wie vollständig von den bereits beschriebenen rotierenden Kapselölluftpumpen vertrieben worden.

Sehr gut bewährt haben sich dann die stehenden Verbundhochvakuumpumpen von Hoddick & Röthe, Weißenfels a. S. Abb. 90 zeigt das Modell Z. 8 (vgl. Tabelle) in Ansicht, Abb. 91 im Schnitt.

Die Maschine wird vollständig geschlossen gebaut. Die hin- und hergehenden schwer abzudichtenden Kolben- und

Schieberstangenstopfbüchsen sind ganz vermieden. Die Steuerung erfolgt durch vollkommen entlastete Kolbenschieber und reibungsfrei geführte Plattenventile. Dadurch, daß die schädlichen Räume besonders abgesaugt werden, ist das erreichbare Vakuum ein sehr gutes (bis 0,007 mm Hg abs.). Die größeren Maschinen werden durch eine Ölpumpe,

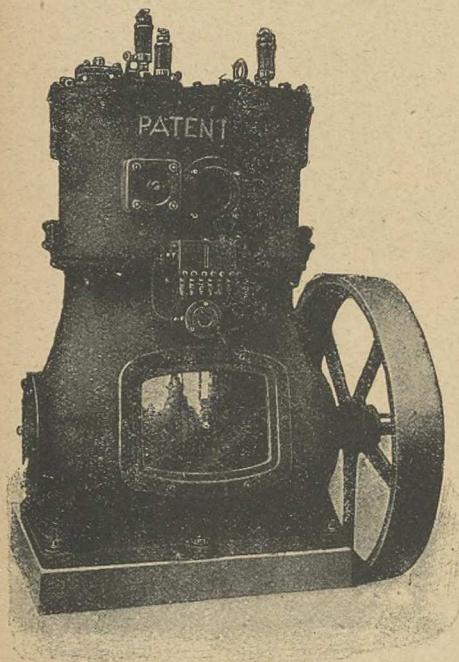


Abb. 90.

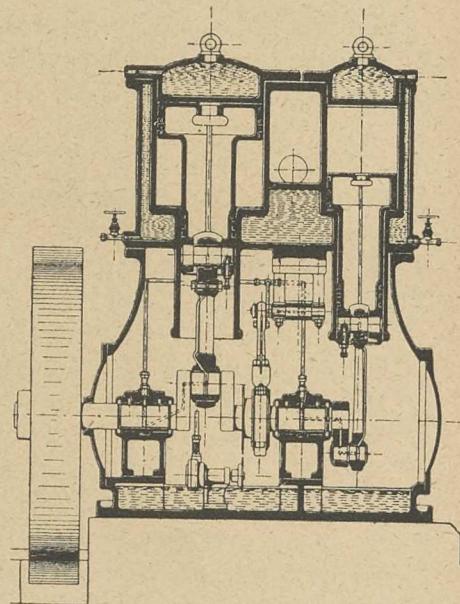


Abb. 91.

die kleineren bis Modell Z. 8 durch Schleuderwirkung geschmiert. Der Umlauf des Öles kann durch große Schau-gläser überwacht werden. Die Pumpen entsprechen allen Anforderungen, die an erstklassige Luftpumpen in bezug auf dauernd erreichbares hohes Vakuum, Betriebssicherheit, ruhigen Gang und geringen Kraftbedarf gestellt werden müssen. Nachstehende Tabelle gibt eine Zusammenstellung der wichtigsten Daten:

Modell Z . . . . .	3	5	6	8	10
Angesaugte Luftmenge in cbm pro Stunde . . . . .	102	240	350	650	1200
Hub mm . . . . .	130	170	200	250	300
Umdrehung pro Minute . . . . .	300	240	225	185	165
Kraftbedarf <sup>1)</sup> bei höchstem Vakuum ca. PSe . . . . .	1,7	3,9	5,7	8,5	13
Raumbedarf: Grundfläche ca. qm . . . . .	0,36	0,63	0,8	1,2	1,75
Höhe ohne Fundament . . . . .	900	1185	1380	1690	1985

<sup>1)</sup> Beim Anlaufen der Maschinen ist der Kraftbedarf das 1,5- bis 2,5fache der angegebenen Werte.

### c) Der Pumptisch und seine Bedienung.

Zur Vornahme des Auspumpens der Lampen werden Pumptische aufgestellt, deren zweckmäßige Einrichtungen es gestatten, gleichzeitig eine große Anzahl Lampen in kurzer Zeit zu entlüften.

Abb. 92 gibt eine schematische Darstellung der Apparatur eines Pumptisches, während Abb. 93 einen Pumptisch in Ansicht zeigt. Die Pumpstation ist gewöhnlich mit zwei gesonderten Vorvakuumleitungen ausgestattet, von denen die eine die Vorentlüftung der Lampen besorgt, während die andere mit der Hochvakuumpumpe (*L* der Zeichnung) verbunden ist. Für die Vakuumleitungen verwendet man soweit als möglich Glasrohr. Gummischläuche geben häufig Anlaß zu Störungen und werden deshalb tunlichst vermieden. Das Verbinden der Glasleitungen untereinander geschieht am besten durch Zusammenschmelzen.

Die Hochvakuumleitung führt zunächst von der Pumpe *L* in die Phosphorkessel *P*, in welchen Porzellanschiffchen mit Phosphorpentoxyd untergebracht sind. Dieses absorbiert die Feuchtigkeit der durchtretenden Gase. Von den Phosphorkesseln zweigen die Pumpgabeln ab, an welche die zu entlüftenden Glühlampen mit der Spitze nach unten geschlossen werden, und zwar entweder unter Verwendung von Vakumschlauch mit großer Wandstärke und geringer Loch-

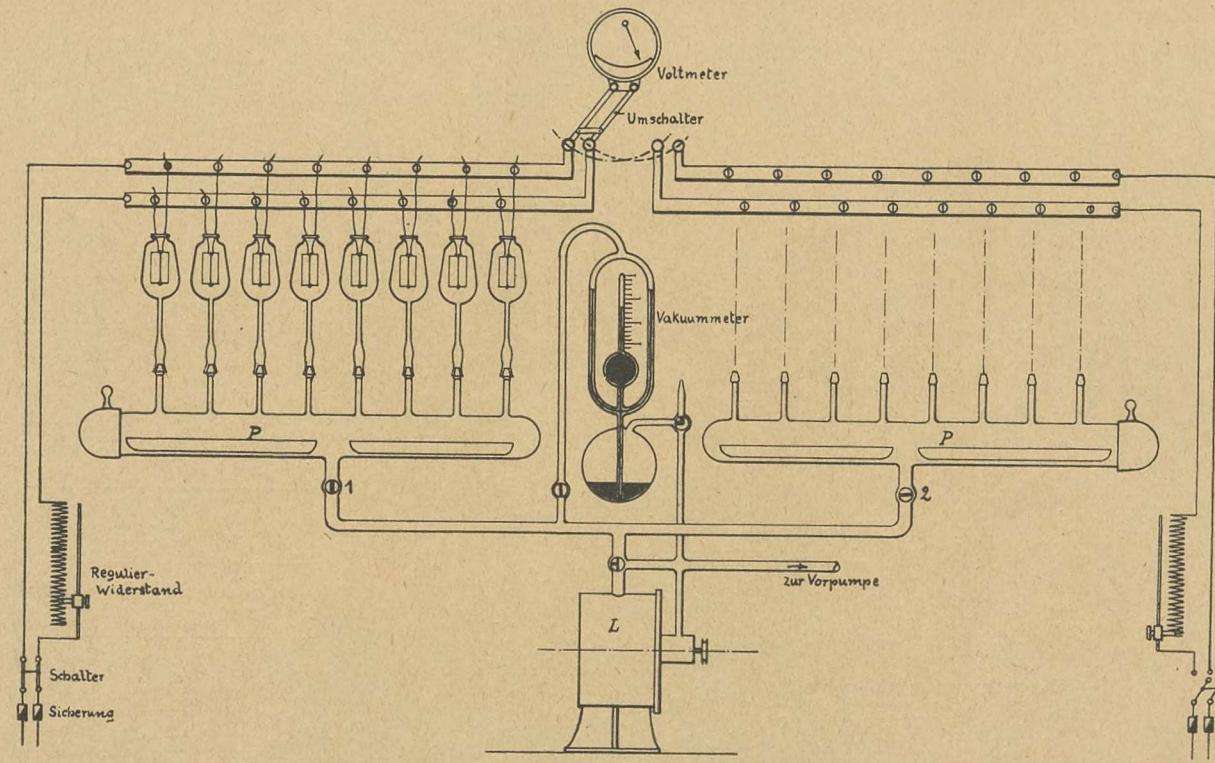


Abb. 92.

weite oder, was in mancher Beziehung empfehlenswerter ist, durch Anschmelzen. Statt dessen werden auch die in der Zeichnung dargestellten mit Normalschiffen versehenen

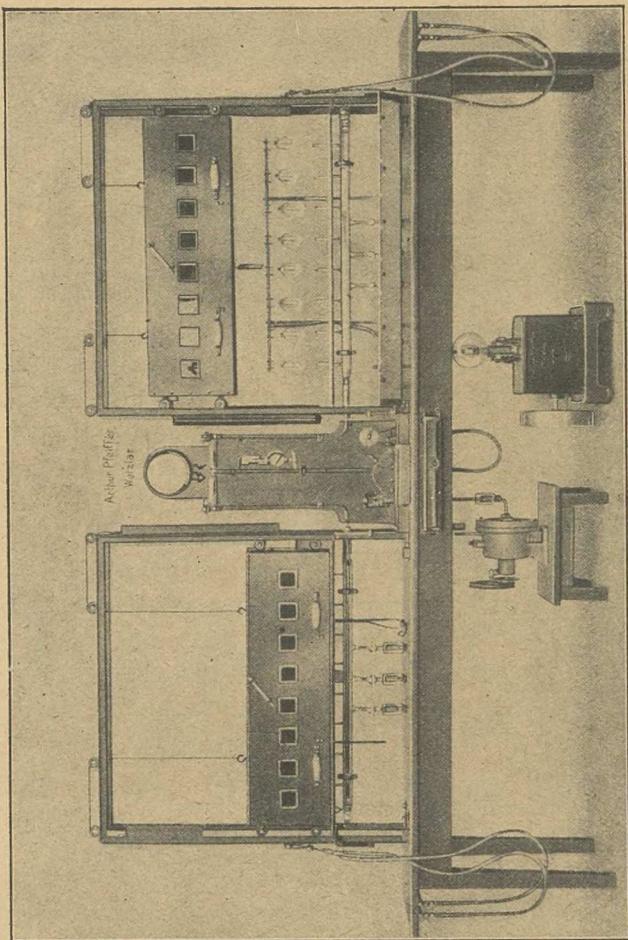


Abb. 93.

Pumpgabeln verwendet. An die Lampen wird dann statt der gewöhnlichen Pumpstengel je ein Normalmantelkonus angesetzt, so daß die Lampen einfach auf die Rechen aufgesetzt werden können. Dadurch ist jede Gelegenheit genommen,

durch das nach dem Abschmelzen nötige Aufblasen der Röhren, welches mit dem Munde ausgeführt zu werden pflegt, Feuchtigkeit in das Röhrensystem zu blasen. Außerdem kann jede Lampe bei Bruch schnell und bequem gegen eine andere ausgewechselt werden.

Beim Entlüften der Lampen werden von der Glaswandung, den Haltern und Drähten hartnäckig Gase und Wasserdämpfe absorbiert. Um diese möglichst vollständig aus den Glocken zu vertreiben, wird das Auspumpen bei erhöhter Temperatur vorgenommen. Die Lampen werden in Pumpkästen eingeschlossen, welche mit Hilfe von Rollen und Gewichten leicht auf- und abbewegt werden können. Die Kästen sind mit einer wärmeisolierenden Schicht ausgekleidet und können gewöhnlich durch Gasbrenner mit Preßluftzuführung oder auch durch eine elektrische Heizvorrichtung schnell auf einige hundert Grad gebracht werden. Die Entgasung ist um so vollständiger, je höher die Lampen erhitzt werden. Über 380 bis 400° C darf jedoch nicht hinausgegangen werden, da die Glocken sonst unter der Wirkung des Atmosphärendruckes eingedrückt werden. Um die Lampen während des Entlüftens beobachten zu können, sind die Kästen mit Glimmerfenstern versehen. Gewöhnlich besitzen die Pumptische je zwei Pumpkästen, aber auch solche mit einem oder vier Kästen werden gebaut.

Um die von dem Leuchtkörper absorbierten Gase und Dämpfe zu entfernen, werden die Lampen während des Pumpens zeitweise unter Strom gesetzt. Die Pumptische sind deshalb mit einer elektrischen Leitung ausgerüstet, welche mit Schaltern und Regulierwiderständen  $R$  und gewöhnlich noch mit einem Voltmeter zu je zwei Pumpkästen versehen sind. Die Stromzuführungsdrähte der aufgesetzten Lampen werden dann mit den Kontakten von passend angeordneten Leiterschienen verbunden.

Die Pumptische müssen ferner zur Überprüfung des Vakuums mit einem Vakuummeter ausgestattet sein. Man wählt ein solches entweder für je einen oder für je zwei

Pumpkästen. Im letzteren Falle muß dasselbe durch einen Dreieghahn oder zwei Absperrhähne abwechselnd mit der linken und rechten Seite des Pumptisches zu verbinden sein. Wird wie in Abb. 92 ein späterhin noch genauer beschriebenes Vakuummeter nach Wohl gewählt, so muß es noch an die Voryakuumleitung angeschlossen werden.

Zwei Pumpkästen pflegen immer von einer Arbeiterin bedient zu werden, und zwar geht die Pumparbeit folgendermaßen vor sich:

Zunächst  
wird die eine  
Sekte mit

Gabel mit Lampen versehen und diese an die Leiterschienen angeschlossen. Darauf werden die Lampen mit dem Vorvakuum in Verbindung gebracht und dann die anderen Pumpgabeln mit Lampen beschickt. Während man das Vorvakuum nunmehr auf diese Lampen wirken läßt, verbindet man die erste Partie Lampen mit dem Hochvakuum. Dieser Situation entspricht die Stellung der Dreiweghähne 1 und 2 der Abbildung. In kurzer Zeit zeigt das Vakuummeter nur noch einige Tausendstel Millimeter Luftdruck. Hierauf werden die Lampen unter Strom gesetzt, so daß und nach bis auf hohe Glut kommen. In Minuten ein Druck von 0,0005 bis 0,0113 so werden die Lampen abgeschmolzen.

Das Abschmelzen oder Abstechen der Lampen wird mit Handgebläsen ausgeführt. Abb. 94 zeigt ein Gebläse mit Gasregulierdüse und Lufthahn, welches gleichzeitig als An-schmelzbrenner zu benutzen ist. Abb. 95 stellt ein Spezial-abschmelzgebläse mit zwei radial gerichteten Stichflammen und Gasspardruckventil dar. Diese Gebläse haben den Vor-zug, daß der Pumpstengel ringsherum gleichmäßig erhitzt



Abb. 94.

wird, wodurch eine sehr saubere und feste Abschmelzung zu erzielen ist. Ganz nahe an der Glocke wird der Pumpstengel an der verdünnten Stelle erhitzt, bis das Glas zusammenschmilzt und das Rohr sich schließt. Darauf wird die Birne schnell entfernt, und nur eine kleine Glasspitze bleibt zurück.

Handelt es sich um die Herstellung von gasgefüllten Lampen, so werden die Glocken vor dem Abschmelzen noch mit einer Abfüllvorrichtung verbunden, aus welcher man das Gas bis zur Erreichung des gewünschten Druckes durch die Pumpstengel in die Lampen fließen lässt. Das Abschmelzen der Lampen bereitet oft einige Schwierigkeit, da die sich infolge der Erhitzung ausdehnenden Gase die weiche Schmelzstelle leicht aufblasen.

Zur Ausrüstung des Pumptischen gehört dann noch ein kleiner Funkeninduktor, welcher zum Aufsuchen schadhafter Lampen benutzt wird. Näheres hierüber ist bei der Prüfung des Vakuums beschrieben.

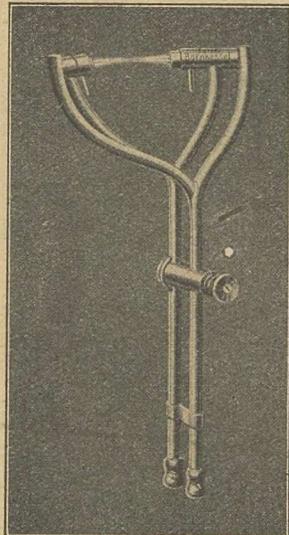


Abb. 95.

#### d) Vakuummeter.

Zum Messen der hohen Verdünnungen werden Kompressionsvakuummeter nach Mac Leod benutzt. Ein solches ist in einer ihm von Gaede gegebenen Form in Abb. 96 und Abb. 97 dargestellt.

Bei *a* wird das Vakuummeter mit der Hochvakuumleitung verbunden. An *a* schließt sich ein mehrfach verzweigtes Röhrensystem an, dessen Form aus den Abbildungen genügend hervorgeht. Die Kugel *G* ist mit Quecksilber gefüllt und durch einen starkwandigen Gummischlauch mit

dem Rohr  $x$  verbunden. Vor der Messung hängt dieselbe in der kleinen unteren Konsole. Ist die Verbindung zwischen dem Vakuummeter und den Lampen hergestellt, so wird das ganze Röhrensystem mit entlüftet und ist mit Luft von dem zu messenden Druck angefüllt. Zur Vornahme der Messung wird die Kugel  $G$  angehoben. Dadurch steigt das Quecksilber in dem Rohr  $X$  in die Höhe. Sobald es die erste

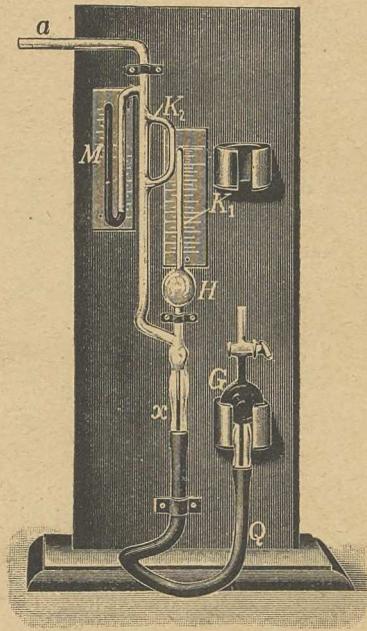


Abb. 96.

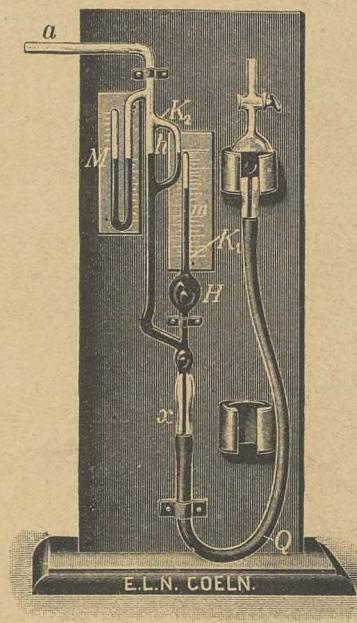


Abb. 97.

Rohrverzweigung überschreitet, wird die in der Kugel  $H$  und der Kapillare  $K$  befindliche Luft abgeschlossen und beim weiteren Anheben der Kugel komprimiert. Die Kugel  $G$  wird in die obere Konsole gehängt. Nun ist auch eine zweite Kapillare  $K_2$ , welche denselben Durchmesser hat wie  $K_1$ , teilweise mit Quecksilber angefüllt. Diesen Moment veranschaulicht Abb. 97. Infolge der Kompression des Gases in  $K_1$  steht das Quecksilber hier tiefer als in  $K_2$ . Die Konsole ist so angebracht, daß das Quecksilber in der Kapillare  $K_2$

auf dem obersten Teilstrich einer Skala  $m$  steht, welcher durch die Spitze der Kapillare  $K_1$  führt.

Der zu messende Druck  $p_1$  wird folgendermaßen ermittelt:

Nach dem Mariotteschen Gesetz bleibt bei isothermischer Kompression das Produkt aus Volumen und Druck einer bestimmten Gasmenge stets gleich groß. Vor der Kompression erfüllte das in  $K_1$  abgesperrte Gas das Volumen  $v_1$  von Kugel  $H$  und Kapillare  $K_1$  unter dem zu messenden Drucke  $p_1$ . Bezeichnen wir Druck und Volumen des Gases nach der Kompression mit  $p_2$  und  $v_2$ , so ist

$$p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2.$$

Nach der Kompression steht das Gas unter dem Drucke  $p_2$ , vermehrt um den Kompressionsdruck. Der erstere kann wegen seiner relativen Kleinheit vernachlässigt werden, während der letztere dargestellt ist durch den Höhenunterschied  $l$  der Quecksilberkuppen in  $K_1$  und  $K_2$ . Werden  $p_2$  und  $l$  in mm Hg angegeben, so ist  $p_2 = l$

$$\text{und } v_2 = c \cdot l_1,$$

wenn  $c$  das Volumen von 1 mm der Kapillare bedeutet.

Setzen wir diese Werte für  $p_2$  und  $v_2$  in die obere Gleichung ein, so ergibt sich

$$p_1 \cdot v_1 = l^2 c,$$

$$\text{also } p_1 = \frac{c}{v_1} \cdot l^2.$$

Entsprechend dieser Beziehung ist die Skala eingeteilt, so daß ohne Umrechnung der zur Länge  $l$  gehörige Druck  $p_1$  direkt abgelesen wird. Bei verschiedenen Drucken  $p_1$  stellt sich das Quecksilber in  $K_2$  verschieden hoch ein, was jedoch infolge der geringen Größe von  $p_1$  nicht ins Gewicht fällt. Drucke von 100 mm bis 1 mm können an dem Manometer  $M$  abgelesen werden.

Um zu vermeiden, daß Luft von außen durch den Schlauch  $Q$  in das Kompressionsgefäß gelangt, werden zwei konzentrische Schläuche verwendet, von denen der innere das Quecksilber enthält, während der äußere gemäß Abb. 98 mit dem Reservoir  $R$  kommuniziert. Dasselbe wird von Zeit zu Zeit

— etwa allmonatlich —, sobald das Manometer  $P$  nachläßt, evakuiert, so daß das in dem inneren Schlauch befindliche Quecksilber stets unter höherem Druck steht, als der am Manometer  $P$  abzulesende Druck zwischen beiden Schläuchen.

Sehr praktisch ist das Vakuummeter nach Wohl<sup>1)</sup> (siehe Abb. 92). Bei diesem kann die untere Kugel mit Hilfe

eines Dreiweghahnes oder zwei einfacher Absperrhähne abwechselnd mit der Außenatmosphäre und dem Vorvakuum verbunden werden. Zur Vornahme einer Messung läßt man zunächst die Kugel evakuieren und dann den Atmosphärendruck das Quecksilber in das Meßsystem treiben. Auf diese

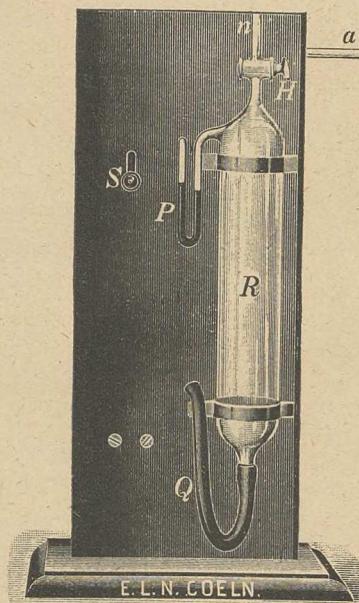


Abb. 98.



Abb. 99.

Weise fällt der lästige Gummischlauch fort, welcher das Quecksilber verschmutzt und oft undicht ist.

In Abb. 99 ist ein Vakuummeter nach Reiff abgebildet. Bei diesem ist das Meßsystem auf ein in der Vertikalebene drehbares Brett montiert. In der abgebildeten Stellung ist das Meßsystem mit Quecksilber gefüllt. Durch Drehen des Brettes kann man dasselbe in die Kugel zurückfließen lassen.

Die Vakuummeter haben für die Glühlampenfabrikation gewöhnlich einen Meßbereich von 1 bis 0,0001 mm Hg.

<sup>1)</sup> Dasselbe wird gebaut von der Firma Arthur Pfeiffer, Wetzlar.

e) Verwendung chemischer Hilfsmittel zur Verbesserung des Vakuums und zur Verminderung der Schwärzung der Glocken während des Gebrauchs.

Lampen, die in der beschriebenen Weise entlüftet wären, würden für den Gebrauch noch durchweg unbrauchbar sein. Die im Innern zurückgebliebenen Gase und Dämpfe sind, so geringfügig sie auch sein mögen, immer noch wirksam genug, um den Leuchtkörper frühzeitig zu zerstören. Es ist deshalb unbedingt erforderlich, das Vakuum durch chemische Hilfsverfahren während des Auspumpens oder nach demselben zu verbessern.

In erster Linie wird ein seit langem geübtes Verfahren angewendet, nach welchem die schädlichen Gase und Dämpfe durch Phosphordämpfe chemisch gebunden werden. Man pflegt die fertig bespannten Gestelle vor dem Einschmelzen in eine wässrige Suspension von rotem, amorphem Phosphor einzutauchen oder mit der Suspension zu bestäuben. Nach dem Entlüften werden die Lampen dann an den später beschriebenen Brandrahmen einer Überspannung von 5 bis 10% ausgesetzt, um die letzten Gasreste auszutreiben und den Phosphor zu verdampfen. Die Lampen werden dabei wahrscheinlich infolge des schlechten Vakuums von einem blauen Lichtschein erfüllt. Sobald dieser verschwunden ist, ist das Vakuum gut und das Entlüften endgültig beendet. Die Phosphordämpfe sind dann mit den Gasen weiße, nicht flüchtige Verbindungen eingegangen, welche sich in der Glocke absetzen. Vielfach wird auch empfohlen, die Glühdrähte erst nach dem Abschmelzen zum erstenmal unter Strom zu setzen.

Es ist mit Sorgfalt darauf zu achten, daß der verwendete Phosphor nicht durch seine Oxyde oder gelben aktiven Phosphor verunreinigt ist, da diese Stoffe das Brüchigwerden der Drähte und das Auftreten schwarzer Beschläge begünstigen.

Um die Umformung des amorphen Phosphors in die gelb-roten bis gelben Modifikationen, welche unter dem Einfluß

des Lichtes der brennenden Lampe rasch zunimmt, zu verhindern, ist vorgeschlagen worden<sup>1)</sup>), den Phosphor in einem kleinen an der dem Glühkörper abgewandten Seite offenen Gefäß aus Rubinglas o. dgl. am Ende des Traggestelles unterzubringen.

Statt des Phosphors lassen sich auch Kalzium, Strontium, Bariummetall<sup>2)</sup> oder metallisches Cer und Titan<sup>3)</sup> oder Kalziumkarbid<sup>4)</sup> verwenden. Diese Stoffe vermögen die Restgase in erwärmtem Zustand zu adsorbieren. Die Deutsche Gasglühlicht-Akt.-Ges. (Osramwerke) legt Wert darauf, solche Stoffe in der Lampe unterzubringen, welche erst beim Erhitzen in Trockenmittel umgewandelt werden. Vor allem kommt das Bariumazid  $Ba(N_3)_2$  in Frage, welches in wässriger Lösung in die Lampe gebracht werden kann. Nach dem Abdunsten wird die Lampe entlüftet und das Bariumazid durch Erhitzen in das Metall übergeführt. Läßt man trockene Luft hinzutreten, so entsteht Bariumoxyd, welches ebenfalls für den angegebenen Zweck verwendbar ist.

Eine ganz erhebliche Verbesserung der Lampen ist dadurch erzielt worden, daß man ganz geringe Mengen von Halogengasen oder Sauerstoffgas in den Lampen unterbrachte.

Die Wirkung dieser Gase beruht nicht auf einer Verminderung der Zerstäubung des Leuchtdrahtes, sondern in erster Linie auf einer Verminderung der Schwärzung der Lampenglocken, indem die abgesprengten Wolframteilchen in farblose oder hellgefärbte Halogen- bzw. Sauerstoffverbindungen übergeführt wurden. In der Tat ist es daraufhin gelungen, elektrische Lampen herzustellen, welche bei langer Nutzbrendauer bis zu 0,8 W/HK belastet werden konnten.

Anton Lederer erkannte als erster die günstige Wirkung der Halogene und brachte dieselben dampfförmig in

<sup>1)</sup> D. R. P. 322 306 vom 26. April 1914.

<sup>2)</sup> D. R. P. 179 526 vom 20. März 1906.

<sup>3)</sup> D. R. P. 246 264 vom 17. Februar 1911.

<sup>4)</sup> D. R. P. 191 788 vom 20. Februar 1907.

geringen Mengen in die Glocken. Dr. F. Skaupy wußte dieses Verfahren ganz erheblich dadurch zu verbessern, daß er feste Halogenverbindungen vornehmlich in der hohlen Mittelstütze unterbrachte, welche infolge der Erwärmung während der gesamten Brenndauer der Lampen geringe Mengen von Halogengasen entwickelten. An geeigneten Substanzen werden vor allem das Thalli-Thallochlorid genannt, ferner Platinchlorid, Platinchlorür, getrocknetes Eisenchloridhydrat und Trikaliumbleihydrofluorid<sup>1)</sup>. Siemens & Halske hat Substanzen verwendet<sup>2)</sup>, welche nur bei Gegenwart einer zweiten Substanz unter der Einwirkung von Wärme und Licht wirksame Gase entwickeln. So tritt Bleijodid mit Mangansperoxyd unter Abspaltung freier Joddämpfe bei erhöhter Temperatur in Reaktion. Nach einem anderen Patent der gleichen Firma<sup>3)</sup> sind Silberhalogenverbindungen vorzüglich geeignet, welche zur Beschleunigung der Reduktion auf Eisen oder Nickel aufgebracht werden können. Die Deutsche Gasglühlicht-Akt.-Ges. hat sich<sup>\*</sup> ein Verfahren schützen lassen<sup>4)</sup>, nach welchem zur Erzielung einer kontinuierlichen Gasabgabe poröse Substanzen, beispielsweise Holzkohle, in der Lampe untergebracht werden, welche Halogene oder halogenhaltige Dämpfe entwickelnde Substanzen gelöst oder adsorbiert enthalten.

Neben diesen Mitteln zur Verminderung der Schwärzung der Glocken werden natürlich diejenigen, welche der Verbesserung des Vakuums dienen, beibehalten, nur machen sich bisweilen erschwerende Komplikationen geltend. So kann beispielsweise nach den Angaben der A. E. G.<sup>5)</sup> der Phosphordampf bei Verwendung von Kaliumjodid die Wirksamkeit des Jodids beeinträchtigen. Die Firma schlägt daher vor, statt des Phosphors ein leicht flüchtiges oder sublimierbares

<sup>1)</sup> D. R. P. 246 820 vom 7. Dezember 1909.

<sup>2)</sup> D. R. P. 258 558 vom 31. Dezember 1911.

<sup>3)</sup> D. R. P. 258 852 vom 31. Dezember 1911.

<sup>4)</sup> D. R. P. 259 118 vom 29. Oktober 1911.

<sup>5)</sup> D. R. P. 263 210 vom 25. Oktober 1912.

Jodid, z. B. Ammonjodid zu verwenden, welches zweckmäßig im Ansatzstengel untergebracht wird.

Lampen, welche nach obigen Verfahren hergestellt werden, können nur für niedrige Spannungen gebaut werden. Bereits bei etwa 200 Volt treten zwischen den Zuleitungsdrähten elektrische Entladungen auf, welche die Lampen schnell zerstören. Die Firmen haben daher andere Verfahren ausgearbeitet, um auch in hochvoltigen Lampen die Schwärzung wirksam bekämpfen zu können.

Die A. E. G. hat gefunden, daß Sauerstoff von geringem Druck den weißglühenden Draht nicht angreift, wohl aber in kälteren Zonen die fortgeschleuderten Wolframteilchen zu Wolframtrioxyd, also einer praktisch farblosen, im Gegensatz zu den früheren Verfahren nicht flüchtigen Verbindung oxydiert. Es werden Substanzen verwendet, welche dauernd soviel Sauerstoff abgeben, als zur Oxydation des zerstäubten Wolframs verbraucht wird. Solche Verbindungen sind Mangan-superoxyd und Bariumchlorat<sup>1)</sup>. Philips Glühlampenfabrik in Holland will die Verwendung von Gasen und Dämpfen ganz vermeiden und überzieht die Innenwandung der Birne mit nicht flüchtigen, anorganischen Stoffen, wie  $Na_2O$ ,  $Na_3PO_4$ ,  $Na_2WO_4$ <sup>3)</sup>. In einem Zusatzpatent empfiehlt die gleiche Firma die Verwendung solcher Substanzen, welche im Wasser praktisch unlöslich sind, um keine Feuchtigkeit in die Lampen zu bringen. So kann Fluorkalzium in wässriger Suspension auf das Traggestell gebracht und getrocknet werden, ohne daß es Feuchtigkeit zurückbehält oder aus der Atmosphäre aufnimmt. Wird die Lampe unter Strom gesetzt, so verflüchtigt sich die Substanz und bildet auf der Glaswand der Birne eine die Schwärzung verhindernde feste Schicht.

Nach einem Patent der A. E. G.<sup>4)</sup> werden in ganz ähnlicher Weise Fluoride oder Doppelfluoride verschiedener Metalle ver-

<sup>1)</sup> D. R. P. 273 963 vom 19. September 1912.

<sup>2)</sup> D. R. P. 311 054 vom 6. Januar 1916.

<sup>3)</sup> D. R. P. 311 347 vom 19. November 1916.

<sup>4)</sup> D. R. P. 302 824 vom 9. Juni 1916.

wendet, wie Kryolit oder Natriumeisenfluorid, ferner Kochsalz oder ähnliche Halogenverbindungen. Oft ist es vorteilhaft, das Traggestell während des Bespritzens mit der Lösung oder Suspension zu erwärmen, weil der Stoff dann besser haftet. Um den Faden während der folgenden Handhabungen nicht zu beschädigen, kann derselbe noch mit einer Schutzschicht überzogen werden, welche sich bereits bei einer so niedrigen Temperatur beseitigen lassen muß, daß der chemisch wirksame Stoff nicht angegriffen wird. Gut geeignet ist eine Lösung von  $2\frac{1}{2}$  Gewichtsprozenten Nitrozellulose in Amylazetat.

Der Faden kann auch auf den Schablonen bereits vor dem Aufbringen auf das Traggestell in der angegebenen Weise vorbereitet werden. Das Doppelfluorid von Natrium und Eisen wird beispielsweise mit Alkohol oder einer anderen nicht wässerigen Flüssigkeit zu einem dicken Brei angerührt, dann eine Lösung von Nitrozellulose hinzugefügt, welche beispielsweise 3 g Nitrozellulose auf 100 ccm Amylazetat oder eine Mischung von Amylazetat, Holzgeist und Äther enthalten kann. Das Verhältnis der Nitrozelluloseslösung zur Paste wird mit  $1\frac{1}{2}$  Raumteilen der ersteren zu 1 Raumteil der letzteren angegeben. 100 cem der so erhaltenen Suspension wird 3 g roter Phosphor zugesetzt.

Nach einem anderen Verfahren<sup>1)</sup> können Borate, insbesondere Kaliumborat, verwendet werden. Dasselbe wird in Wasser gelöst und nach Zugabe geringer Mengen amorphen Phosphors auf den Leuchtkörper gestäubt. Erst nach dem Entlüften werden die Lampen zum erstenmal unter Strom gesetzt, wobei sich das Borat und der Phosphor verflüchtigen.

#### f) Das Entlüften der Lampen in evakuierten Behältern.

Wie bereits hervorgehoben wurde, können die Gase aus den Lampen um so vollständiger entfernt werden, je höher man die Glocken während des Entlüftens erhitzt. Die Erhitzung findet bei den gebräuchlichen Glassorten gegen  $380^{\circ}$

<sup>1)</sup> D. R. P. 349 276 vom 18. Februar 1919.

eine natürliche Grenze, da bei Überschreiten dieser Temperatur der äußere Luftdruck, der während des Entlüftens durch den Innendruck nicht mehr kompensiert wird, die Glashuben eindrückt. Sorgt man aber dafür, daß während des Entlüftens innerhalb und außerhalb der Glocken stets gleicher Luftdruck herrscht, indem man den Behälter, in welchem die Lampen untergebracht sind, ebenfalls mit entlüftet, so kann die Temperatur bei den gebräuchlichen Glassorten noch um 100 bis 140° gesteigert werden.

Solche Glühlampen, deren Glaswand sich während des Gebrauchs hoch erhitzt, also Lampen mit kleinen Glocken, wie die Spiraldrahtlampen und ganz besonders gasgefüllte Lampen, ist die Anwendung besonders hoher Temperaturen während des Entlüftens ratsam. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß nicht nur die Glaswandung Gase absorbiert, sondern daß auch das Innere des Glases selbst besonders bei erhöhter Temperatur geringe Mengen Wasserdampf abgibt. Es empfiehlt sich die Verwendung hochschmelzender Gläser, wie das unter dem Namen „Glas mit geringer Ausdehnung“ bekannte Natrium - Magnesium - Boro - Silikatglas. Glocken aus diesem Glas können in den Vakuumöfen auf 550 bis 600° C erhitzt werden.

Einen solchen Ofen hat die A. E. G. konstruiert<sup>1)</sup>. Der selbe wird elektrisch geheizt und besteht aus einer Glocke, welche auf eine Grundplatte luftdicht aufgesetzt wird. Durch die Grundplatte führen eine Vakuumleitung, an welche die Lampen angeschlossen werden und ein besonderes Entlüftungsrohr für den Behälter. Bevor man den Ofen nach vollzogener Entlüftung öffnet, muß die Temperatur wieder so weit gesunken sein, daß die Lampenglocken dem Atmosphärendruck standzuhalten vermögen. Die Lampen werden dann wie bisher abgeschmolzen.

Eine wesentliche Vereinfachung bedeutet ein Verfahren<sup>2)</sup> der A u e r g e s e l l s c h a f t i n Berlin, nach welchem der

<sup>1)</sup> D. R. P. 253 237 vom 22. Oktober 1911.

<sup>2)</sup> D. R. P. 306634 vom 28. September 1915 und 339362 vom 19. Mai 1918.

Abschluß der entlüfteten Lampen bereits im evakuierten Raum selbst vorgenommen wird. Der Ofen ist in Abb. 100 im Längsschnitt abgebildet. Man pflegt Glühlampen zu verwenden, welche nicht wie üblich den Pumpstengel am

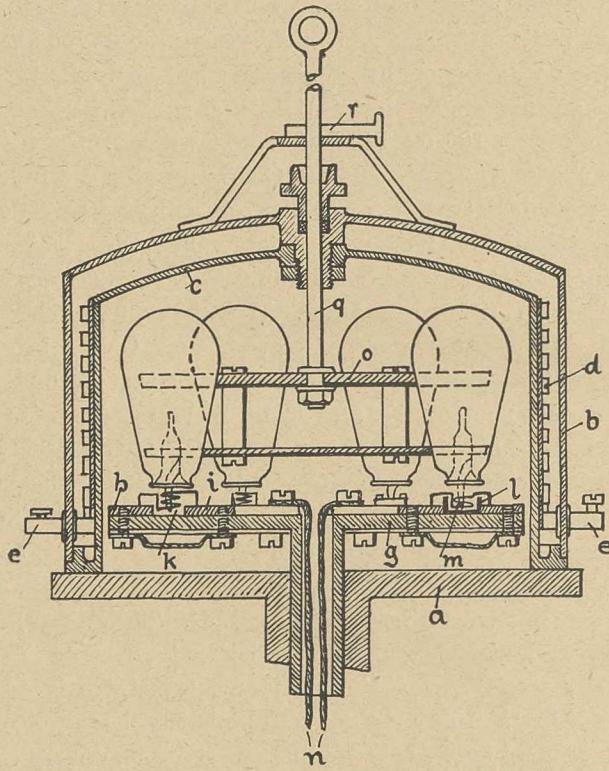


Abb. 100.

Boden der Glocke tragen, sondern gemäß Abb. 101 mit einem kleinen Pumpstengel  $a$  versehen sind, welcher aus dem Glas des Füßchens  $b$  nach einem später zu beschreibenden Verfahren gebildet wird.

Der Ofen besteht aus einer Grundplatte  $a$ , auf welcher luftdicht ein Behälter  $b$  aufgesetzt wird. In ihm ist die Glocke befestigt, welche von einer zu Klemme  $e$  geführten

Heizvorrichtung *d* umgeben ist. In die Grundplatte mündet ein Entlüftungsrohr *f*, das die Platte *g* trägt. Die Lampen sind in einem Gestell *o* gelagert, welches mittels der Stange *q* und des Riegels *r* gegenüber der Platte *g* beliebig verstellt werden kann. Auf der Platte *g* sind Kontaktklötzchen *h* und *i* angeordnet, welche durch die Drähte *n* mit Strom versorgt werden und mit Heizkörpern zum Abschmelzen der Entlüftungsrohrchen verbunden sind. Die Heizkörper können plattenförmig gestaltet sein, bestehen aber am besten, wie auf der linken Seite der Abb. 100 gezeigt ist, aus schraubenlinienförmigen Heizdrähten *k*, oder, wie die rechte Seite zeigt, aus kleinen Gefäßen *l*, welche eine Schmelzmasse aufnehmen. In letzteren sind Heizdrähte *m* angeordnet. Nach genügend langer Dauer des Entlüftungsvorganges, die sich durch Versuche leicht feststellen läßt, wird durch die Drähte *k* bzw. *m* Strom geschickt, erforderlichenfalls das Gestell *o* gesenkt und nach Flüssigwerden der Pumpröhrchenenden angehoben. Auf diese Weise werden die Lampen unter Bildung einer abgerundeten, nicht leicht zu beschädigenden Spitze verschlossen. Werden bei jedem Arbeitsgang gleichzeitig sehr viele Lampen entlüftet und verschlossen, so empfiehlt sich der Einbau besonderer elektrischer Heizkörper in dem Behälter *c* oder dem Gestell *o*, um die Lampen rasch auf die gegen Schluß der Entlüftung erforderliche Höchsttemperatur bringen zu können.

Zur Erzeugung des Pumpröhrchens ist am besten das Füßchen geeignet, weil es aus verhältnismäßig dickwandigem Glas besteht. Die Röhrchen können mit einer in Abb. 102 dargestellten Vorrichtung erzeugt werden.

Das Füßchen *a* mit dem nicht gezeichneten Traggestell wird in eine mittels der Schnurscheibe *f* in Rotation zu versetzende Zange *c* eingespannt. Eine Gebläseflamme *d* erwärmt diejenige Zone des rotierenden Füßchens, in der das Pumpröhrchen gebildet werden soll. Nach Stillsetzen des angewärmten Füßchens wird die betreffende Stelle des

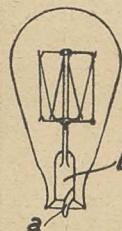


Abb. 101.

Röhrchens von einem Gebläse *g* zum Schmelzen gebracht. Neben dem Röhrchen ist ein Dorn *h* um eine Achse *i* drehbar gelagert, welcher mittels des Griffes *k* in die strichpunktiert gezeichnete Arbeitsstellung geschwenkt wird, so daß das Röhrchen *e* entsteht. Um gleichzeitig das Röhrchen an der Spitze zu öffnen, ist die Achse *i* als Preßluftleitung ausgebildet. Im gegebenen Augenblick tritt ein

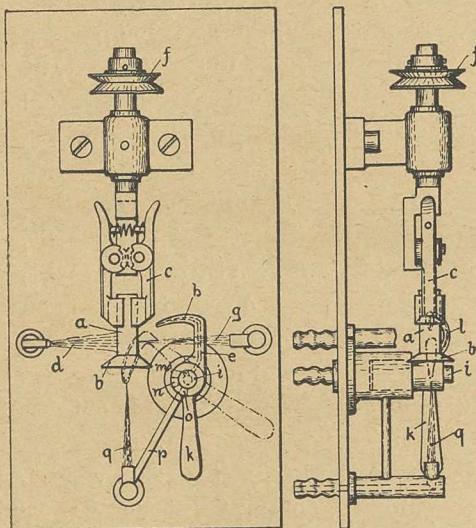


Abb. 102.

Kanal *l* innerhalb des Dornes durch eine Öffnung *m* mit dem Innern der Achse *i* in Verbindung, so daß die Preßluft am Ende des Dornes austritt, um das Röhrchen zu öffnen. Als bald vermittelt eine Öffnung *n* in der Nabe des Dornes *h* die Verbindung zwischen einer Pforte *o* in der Achsenwand und einer Leitung *y*, die zu einer dritten Gebläseflamme *q* führt, welche die Spitze des Röhrchens erwärmt.

Zur Herstellung gasgefüllter Lampen hat die Glasinstrumentenfabrik Albert Zuckschwerdt in Ilmenau i. Th. folgendes Verfahren geschützt erhalten<sup>1)</sup>. Die Glüh-

<sup>1)</sup> D. R. P. 318 774 vom 17. Mai 1919.

lampen werden mit langen Ansatzrohren versehen und mit abwärts gerichteten Rohren in dem Rezipienten so untergebracht, daß das Innere der Glocken mit dem Behälterinnern kommuniziert. Nach beendeter Entlüftung wird der Behälter mit dem Gas bis zur Herstellung eines nur noch geringen Unterdruckes gefüllt. Darauf werden die unteren Rohrenden unter die Oberfläche einer Abschlußflüssigkeit gebracht, indem man beispielsweise Quecksilber in ein Gefäß fließen läßt, in welches die Rohre eintauchen. Nach Herstellung von Atmosphärendruck wird die Glocke geöffnet. Das Quecksilber ist in den Rohren hochgestiegen. Schadhafte Lampen sind leicht an dem Sinken des Quecksilbers zu erkennen. Die Lampen werden dann wie bisher abgeschmolzen.

Die A. E. G. hat festgestellt, daß die Entlüftung bei Verwendung hochschmelzender Gläser nicht bei der erreichten Höchsttemperatur von 550 bis 600° C abgebrochen werden darf, sondern daß es zweckmäßig ist, bei 400 bis 500° C noch einmal zu entlüften, um, wie die Firma annimmt, die bei den hohen Temperaturen an die Oberfläche gelangenden Dämpfe zu entfernen, ohne daß sie sich von neuem entwickeln<sup>1)</sup>.

### g) Das Brennen der Lampen und das Prüfen des Vakuums.

Die fertig entlüfteten Lampen werden an Brandrahmen, event. zum erstenmal, unter Strom gesetzt. Dieselben bestehen aus Holzrahmen, welche mehrere horizontal angeordnete Schieferleisten tragen. Die Leisten sind mit Stromzuführungsschienen und Kontaktknöpfen zum Anhängen der Lampen versehen. Jeder Rahmen ist mit Vorschaltwiderständen und Voltmetern ausgerüstet und dient zum gleichzeitigen Brennen von meistens 100 Lampen. Die Brenndauer ist je nach den Umständen verschieden, als Mittel kann man 15 bis 20 Minuten annehmen. Die Lampen werden nach und nach auf immer höhere Temperatur gebracht bis zu einer Überspannung von etwa 5 bis 10%. Dabei gelangen

<sup>1)</sup> D. R. P. 294 216 vom 5. Dezember 1915.

die in der Lampe enthaltenen Substanzen zur Verbesserung des Vakuums in der bereits beschriebenen Weise zur Wirkung.

Lampen, welche nicht einwandfrei sind, werden ausgeschieden und die für gut befundenen einer Vakuumprüfung unterzogen. Um selbst sehr geringe Gasmengen in den Glocken mit Sicherheit feststellen zu können, macht man sich die als Geißlerlicht bekannten Erscheinungen, welche durch hochgespannte elektrische Ströme im verdünnten Gasraum hervorgerufen werden, zunutze. Man verbindet die Stromzuführungsdrähte einer Lampe mit den Polen der sekundären Rolle eines Ruhmkorff-Induktionsapparates. Bei sehr gut entlüfteten Lampen werden keine Lichterscheinungen wahrgenommen. Ein grünlicher Schimmer innerhalb der Lampen deutet bereits auf Anwesenheit geringer Gasmengen hin, während Lampen mit bläulichem bis violettem Licht unbrauchbar sind. Diese müssen, falls sie keine Glassprünge aufweisen, noch einmal entlüftet werden.

Sehr viel einfacher und ökonomischer ist die Prüfung der Lampen, indem man sie der Wirkung elektrischer Ströme von außerordentlich hoher Spannung und hoher Schwingungszahl, den sog. Teslaströmen, aussetzt. Solche Ströme werden erzeugt, indem man den Sekundärstrom eines mit einem Wehneltunterbrecher ausgestatteten Induktoriums in Kondensatoren (Leydener Flaschen) aufladet und über eine Funkenstrecke, bestehend aus zwei kleinen, gegeneinander verstellbaren Zinkzylindern, und der Primärspule eines Teslatransformators zur Entladung bringt. Die Funkenstrecke erteilt dem Strom eine sehr hohe Frequenz. Die Primärspule des Transformators, welche aus wenigen Windungen dicken Drahtes gebildet wird, umgibt eine sekundäre Rolle aus vielen Windungen dünnen Drahtes. Um beide Spulen sicher gegeneinander zu isolieren, setzt man die sekundäre Rolle so in die weitere primäre Rolle, daß sich zwischen beiden ein größerer Luftraum befindet. Die erstere bringt den Strom auf eine außerordentlich hohe Spannung bei gleichbleibender Schwingungszahl. Der eine Pol dieser

Spule wird mit einer Zinkplatte verbunden, auf welche, wie Abb. 103 zeigt, die Kästen mit den Lampen gestellt werden. Der andere Pol führt zu einem frei beweglichen, mit gut isoliertem Griff versehenen Metallring oder dgl. Wird dieser den Lampen genähert, so zeigen sich die erwähnten Lichterscheinungen. Eine zu große Annäherung muß vermieden



Abb. 103.

werden, da sonst leicht Funken auf die Lampen überspringen und diese beschädigen.

## 10. Einige besondere Herstellungsverfahren.

Bei Herstellung spitzenloser Lampen pflegt man einen gewöhnlichen Pumpstengel statt am Boden der Glocke am Füßchen oder in unmittelbarer Nähe derselben anzubringen, so daß die Abschmelzstelle von dem Sockel verdeckt wird. Man ist u. a. so verfahren, daß man an irgendeiner Stelle der

Glocke ein Hilfsröhren angesetzt und dann das Füßchen in die Lampe eingeschmolzen hat. Um die Öffnung für das eigentliche Pumprohr zu erzeugen, wurde die betreffende Stelle des Tellerfußes bzw. der benachbarten Glockenwandung erhitzt und durch Einleitung von Druckluft durch das Hilfsröhren aufgeblasen. Dieses mußte darauf entfernt und die Glocke sauber verblasen und geglättet werden. Das Verfahren ist also sehr schwierig und umständlich.

Nach einem Verfahren der Omega-Werke in Leutzsch bei Leipzig wird ein an der Spindel der Einschmelzmaschine befestigtes Röhren aus Metall mit dem Füßchen zusammen in die Glocke eingeführt, so daß beim Verschmelzen von Glocke und Füßchen von vornherein eine Öffnung für den Pumpstengel freibleibt.

Schließlich kann der Mittelträger statt aus einem Stäbchen aus einem oben offenen Rohr bestehen, welches nach unten so weit verlängert ist, daß es gleichzeitig als Pumpstengel dient.

Ein Spezialverfahren zur Herstellung spitzenloser Lampen wurde bereits auf S. 186 beschrieben.

Was die kleinkerzigen (Zwerglampen usw.) anbelangt, so bieten sich auch zu deren Herstellung mancherlei Möglichkeiten. Man kann das Füßchen mit dem Leuchtkörper und den Zuleitungsdrähten in ein Glasrohr einschmelzen und dieses nachträglich zur Kugel aufblasen. Da ein wiederholtes Erhitzen des Röhrchens leicht zur Beschädigung des Füßchens oder des Leuchtkörpers führt, schlägt die Elektrische Glühlampenfabrik „Watt“ in Wien vor<sup>1)</sup>), das Aufblasen des Glasrohres zur Glocke unmittelbar nach dem Einschmelzen des Füßchens vorzunehmen, noch ehe die Schmelzstelle wesentlich abgekühlt ist. Zur Ausführung des Verfahrens mittels einer Maschine werden die Halte- oder Mitnehmerorgane des Glasrohrs zweckmäßig als Hälften einer geteilten Glockenblasform ausgebildet, in welche der erhitzte Glasrohrteil eingeführt und zur Glocke aufgeblasen wird.

<sup>1)</sup> D. R. P. 284 046 vom 10. Oktober 1912.

Diese kleinen Lampen werden besonders häufig als spitzenlose Lampen geliefert. Die einfachste Herstellungsweise ist folgende: Die Zuleitungsdrähte werden in einem kleinen Glassteg mit dem Leuchtkörper verbunden und dieser in einer mit dem Hals nach oben gerichteten Glocke in der richtigen Lage eingehängt, indem man die Zuleitungsdrähte über den Rand des Halses abbiegt. Danach wird ein Entlüftungsrohr auf den Glockenrand und die Zuleitungsdrähte aufgesetzt und mit dem ersten verschmolzen.

Die Deutsche Gasglühlicht-Akt.-Ges. in Berlin verbessert dieses Verfahren gemäß Abb. 104 dadurch<sup>1)</sup>, daß sie das Ansatzrohr *f* so eng wählt, daß es in den Glockenhals eingeschoben werden kann und die in den Hals eingehängten Zuleitungsdrähte *d* sich in dem ringförmigen Raum zwischen Glockenhals und Ansatzrohr befinden. Während alle drei Teile miteinander verschmolzen werden, wird durch das Ansatzrohr etwas Luft geblasen, um es offen zu halten. Das Verfahren bietet den Vorteil, daß die Dichtungsfläche für die Drähte an der Schmelzstelle länger ist, als beim bloßen Aufeinandersetzen von Rohr und Hals. Außerdem sind die Drähte der Einwirkung der Heizflammen entzogen.

Nach einem Verfahren von Josef Plechati in Berlin-Pankow<sup>2)</sup> werden die Zuleitungsdrähte durch einen Steg festgelegt, welcher sich in einen Glasstab fortsetzt, der die Drähte gegen das Evakuierungsrohr führt, auf welches die Birne geschmolzen wird. Durch den Glasstab erhalten die Zuleitungsdrähte eine Führung,

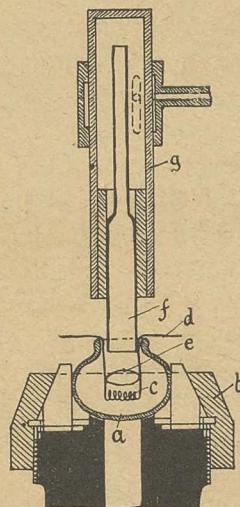


Abb. 104.

<sup>1)</sup> D. R. P. 301 041 vom 15. November 1916.

<sup>2)</sup> D. R. P. 279 827 vom 16. Dezember 1913.

welche sie am Verziehen und Beeinflussen des Glühfadens hindert.

## 11. Das Photometrieren der Glühlampen.

Als letzte Prüfung wird die Lichtstärke einer jeden Lampe auf photometrischem Wege bestimmt, dabei die Spannung und Stromstärke gemessen und der spezifische Effektverbrauch berechnet.

Als Einheit dient in Deutschland die mit der bereits auf Seite 5 u. 6 besprochenen und abgebildeten Hefnerlampe erzeugte Normal-Hefnerkerze. Man wählt nun für die technischen Messungen allerdings nicht die in der Handhabung sehr unpraktischen Hefnerlampen selbst, sondern benutzt als Vergleichslichtquelle von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geeichte Normalkohlenfaden- oder Metalldrahtlampen.

Um festzustellen, wievielmal mehr Licht die zu messende Lampe aussendet, als die Normallampe, bedient man sich folgenden Prinzips.

Eine Fläche wird von einer in einer bestimmten Entfernung befindlichen Lichtquelle um so heller beleuchtet, je größer die Lichtstärke der Lichtquelle ist. Zwei Lichtquellen haben gleiche Lichtstärke, wenn sie aus derselben Entfernung ein und dieselbe Fläche gleich hell beleuchten. Sind  $R$  und  $r$  der Abb. 105 die Entferungen der beiden Lichtquellen von der gleich hell beleuchteten Fläche, so sind bei ungleicher Entfernung auch die Lichtstärken  $J$  und  $i$  der beiden Lichtquellen verschieden groß. Hingegen bleiben die Lichtstärken dividiert durch das Quadrat der zugehörigen Entfernung einander stets gleich.

$$\frac{J}{R^2} = \frac{i}{r^2}.$$

Kennen wir die Lichtstärke  $J$  der einen Lichtquelle (Normallampe), so können wir die Lichtstärke  $i$  der anderen Lichtquelle finden, wenn uns die Entfernungen der Licht-

quellen von der gleich hell beleuchteten Fläche bekannt sind. Dann ist nämlich

$$J = \frac{R^2}{r^2} \cdot i.$$

Lummer und Brodhun haben eine sehr praktische Vorrichtung angegeben, um die Gleichheit der Beleuchtung einer Fläche durch zwei Lichtquellen sehr scharf und einfach zu erkennen. Abb. 105 veranschaulicht das Prinzip dieser Erfindung und gibt gleichzeitig die durchweg gebräuchliche Anordnung einer photometrischen Meßeinrichtung.

Von rechts dringt das Licht der Lampe *l* und von links das der Normallampe *L* in das stark gezeichnete Gehäuse

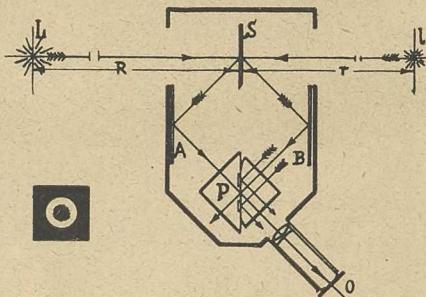


Abb. 105.

eines Photometerkopfes ein, wird von den beiden Wänden des lichtundurchlässigen vertikal angeordneten Schirmes *S* reflektiert und gegen die Spiegel *A* und *B* geworfen. Die Spiegel lassen das Licht senkrecht auf die Kathetenflächen zweier zu einem Lummer-Brodhunschen Photometerwürfel *P* vereinigten rechtwinkligen Glasprismen fallen. Die ebenen Hypotenuserflächen der Prismen sind fest aufeinander gepreßt. An den Berührungsstellen dringt das Licht unabgelenkt durch den Würfel hindurch, als ob derselbe ein einheitlicher Glaskörper wäre. Hingegen besitzt das linke Prisma eine eingeblasene ringförmige Vertiefung, und an dieser wird das von beiden Seiten eingedrungene Licht rechtwinklig reflektiert. So kommt es, daß ein Beobachter, welcher von *O*

aus durch eine Lupe die Berührungsfläche der beiden Prismen betrachtet, das links in der Abb. 105 gezeichnete Bild empfängt, wenn die rechte Seite des Schirmes heller beleuchtet ist als die linke. Bewegt man den Photometerkopf nach links, so ist in dem Augenblick, in welchem das innere Feld verschwindet und mit dem Ring nur eine gleichmäßig beleuchtete Fläche bildet, Beleuchtungsgleichheit der beiden Seiten des Schirmes erzielt. Abb. 106 zeigt einen Lummer-Brodhunschen Photometerkopf in Ansicht, und Abb. 107 eine

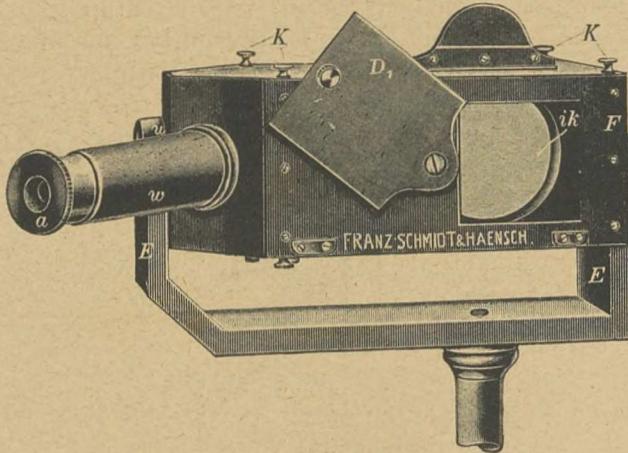


Abb. 106.

Photometerbank mit Ausrüstung<sup>1)</sup>. In der Mitte befindet sich ein verschiebbarer Lummer-Brodhunscher Photometerkopf. Derselbe ist rechts in einem Abstand von 54 bis 60 cm direkt mit einem die Normallampe tragenden Glühlampenhalter gekuppelt, welcher ebenfalls verschiebbar ist. Die zu messende Lampe befindet sich am linken Ende der Bank auf einem fest montierten Lampenhalter. Die Abstände der Lampen vom Photometer sind auf der Teilung der gewöhnlich mit Hartgummi überzogenen Gleitschiene abzulesen. Zum Fernhalten fremden Lichtes können mehrere mit schwarzem Sammet überzogene Blendenscheiben auf der Bank angeordnet werden.

<sup>1)</sup> Fabrikat der Firma Arthur Pfeiffer, Wetzlar.

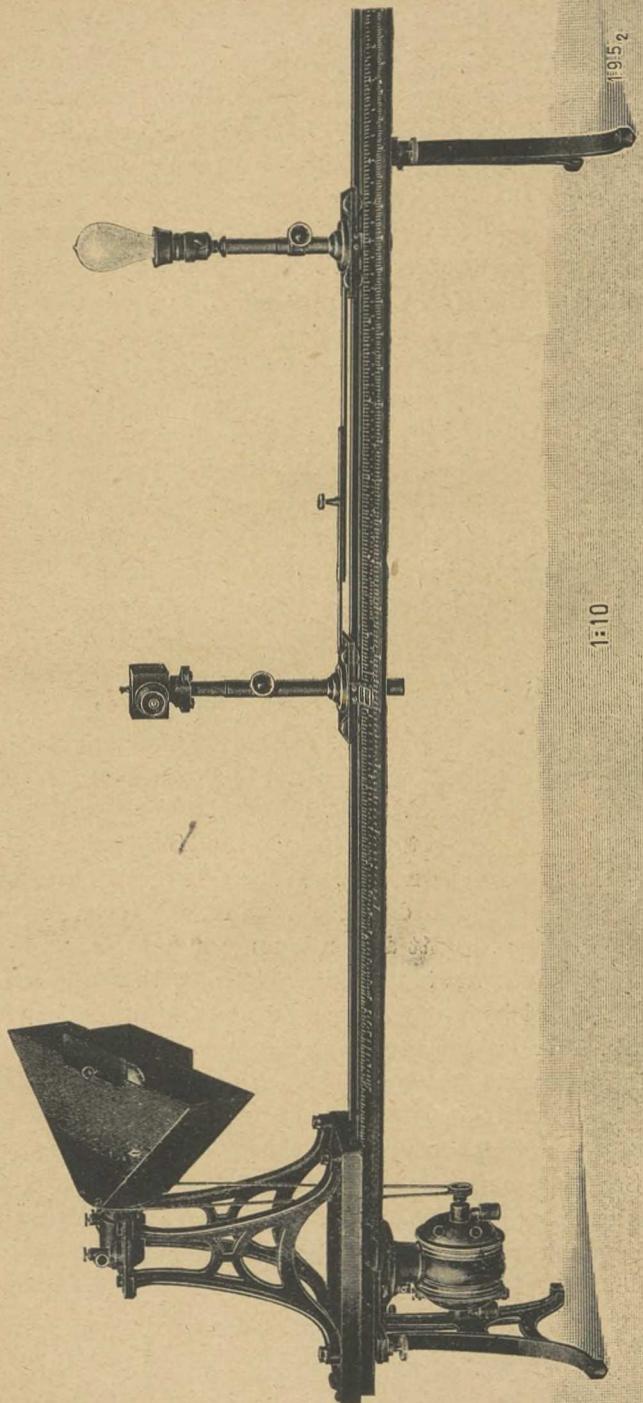


Abb. 107.

Arbeitet man im Dunkelraum, so sind dieselben natürlich überflüssig. Die Bänke haben eine Länge von 2,5 oder 3 m.

Die Glühlampen werden vielfach unter Verwendung eines Winkelspiegels photometriert. Zur Feststellung der horizontalen Lichtstärke genügt es nämlich nicht, die Lampen nur in einer Richtung zu photometrieren. Man muß vielmehr, um Verschiedenheiten der Lichtausstrahlung in verschiedenen Richtungen in die Messung einzubegreifen, die mittlere

horizontale Lichtstärke ermitteln, d. h. den Mittelwert aus den Lichtstärken in allen Richtungen der Horizontalen Ebene. Die beiden Spiegel sind um  $120^{\circ}$  gegeneinander geneigt. Man mißt dann die Lichtstärke der Lampe selbst, vermehrt um die beiden Spiegelbilder. Um die mittlere horizontale Lichtstärke zu finden, hat man das Meßresultat noch mit einem konstanten Wert zu multiplizieren.

Häufiger wird in den Glühlampenfabriken die Rotationsmethode angewandt. Abb. 108 zeigt einen Glühlampenrotator der Firma Schmidt & Haensel. Während der Rotation wird direkt die mittlere horizontale

Lichtstärke gemessen. Statt dessen kann man auch bei empfindlichen Lampen einen rotierenden Winkelspiegel verwenden, in dessen Scheitelebene die Lampe ruhend angeordnet ist. Die in Abb. 107 dargestellte Bank ist mit einem solchen Spiegel für horizontal angeordnete Lampen ausgerüstet.

Meßlampe und Normallampe werden am besten von Akkumulatoren mit Strom versorgt, da die Netzspannungen zu große Schwankungen aufweisen. Für beide Lampen sind dann Regulierwiderstände, Volt- und Ampermeter erforderlich, um die elektrischen Ströme genau einregulieren und ablesen zu können. Durch Verschieben des Photometerkopfes

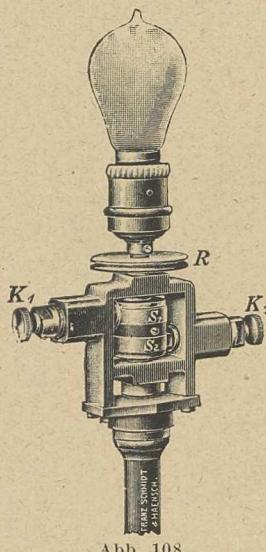


Abb. 108.

wird auf Gleichheit der Beleuchtung des Photometerschirmes durch Meß- und Normallampe eingestellt und die Stärke des Stromes der Meßlampe so lange verändert, bis die Anzahl der Watt durch die Anzahl der Hefnerkerzen dividiert die gewünschte Belastung ergibt. Volt- und Amperemeter zeigen

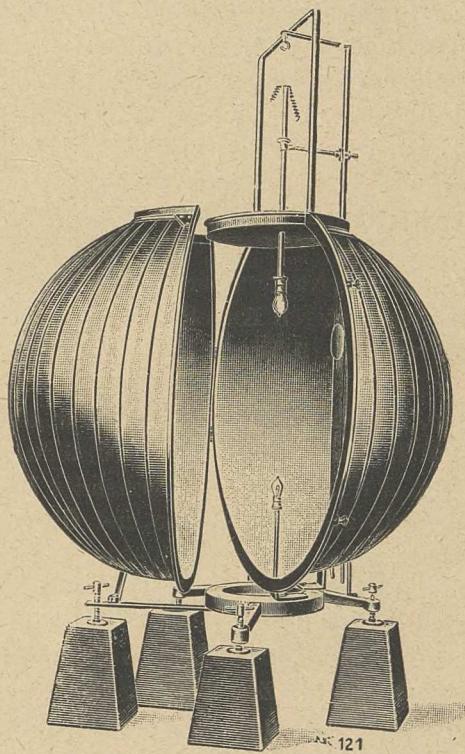


Abb. 109.

dann an, ob die Lampe tatsächlich geeignet ist, unter einem Strom zu brennen, für den sie bestimmt war. Geringe Unregelmäßigkeiten werden dabei als zulässig angesehen.

Ein sehr verbreiteter Apparat zur Messung der mittleren sphärischen Lichtstärke ist die Ulbrichtsche Kugel. Die Abb. 109 zeigt eine Ausführung der Firma Arthur Pfeiffer, Wetzlar.

Die aus verzinktem Eisenblech gefertigte Kugel ist innen mattweiß gestrichen. Der Durchmesser beträgt 0,5 bis 1 m. Nur für Hochkerzenlampen wählt man Kugeln von 1,5 und 2 m Durchmesser.

Ulbricht fand, daß die durch eine im Innern der Kugel befindliche Lichtquelle erzielte indirekte Beleuchtung an allen Stellen der Kugel dieselbe ist. Die von der Lichtquelle ausgesandten Strahlen verteilen sich gleichmäßig auf die Kugeloberfläche, als ob wir es mit einer punktförmigen Lichtquelle zu tun hätten. Die Beleuchtung eines jeden Flächenelementes der Kugeloberfläche steht infolgedessen in einem konstanten Verhältnis zur mittleren sphärischen Lichtstärke der Lichtquelle.

In der Abbildung ist die obere die zu messende Lampe. Die Wandung der hinteren Kugelhälfte ist am Äquator mit einer Öffnung von ca. 5 cm Durchmesser versehen. Das heraustretende Licht wird nun mit Hilfe einer Photometerbank gemessen, als ob die Öffnung eine selbständige Lichtquelle sei. Man hat nur dafür zu sorgen, daß aus der Öffnung nicht direkt von der Lichtquelle stammendes Licht austritt. Man bringt deshalb zwischen Lampe und Öffnung eine verschiebbare Blende, welche auf der Abbildung ebenfalls sichtbar ist. Um den wahren Wert der mittleren räumlichen Lichtstärke zu erhalten, muß man das Meßergebnis noch mit einem konstanten Wert multiplizieren, welcher durch Eichung der Kugel gefunden wird. Zur Eichung führt man eine Messung mit einer Normallampe aus, welche man entweder an Stelle der Meßlampe in die Kugel hängt, oder welche wie in Abb. 109 unten in der Kugel bleibend angeordnet ist.

Das aus dem Fenster der Kugel heraustretende Licht wird mit Hilfe eines Photometers gemessen. Statt der vorbeschriebenen Photometer wird auch häufig das Webersche Milchglasplattenphotometer benutzt, welches in Abb. 110 dargestellt ist.

Der eigentliche photometrische Meßapparat ist wieder ein Lummer-Brodhunscher Würfel, welcher in der Mitte des linken

vertikal schwenkbaren Rohres angebracht ist. Auf der rechten Seite des feststehenden, horizontalen Hauptrohres befindet sich eine Benzinlampe mit meßbarer Flammenhöhe, welche eine in der Mitte des Rohres befindliche Milchglasplatte beleuchtet. Diese ist mit Hilfe eines Triebes in dem Tubus verschiebbar, und ihr Abstand von der Lampe kann

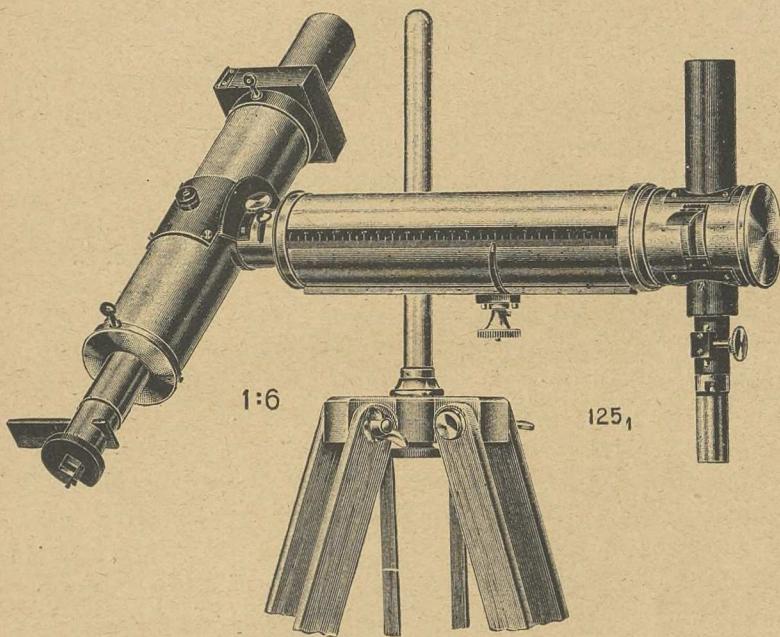


Abb. 110.

an einer Skala abgelesen werden. Diese Platte ist die eine Lichtquelle für den Lummer-Brodhunschen Würfel. Die andere Lichtquelle ist eine zweite Milchglasplatte, welche sich am hinteren Ende des schwenkbaren Rohres befindet und von der zu messenden Lichtquelle beleuchtet wird. Ist durch Verschieben der ersten Milchglasplatte Beleuchtungsgleichheit erzielt, so berechnet sich die gesuchte Lichtstärke nach der Formel

$$J = c \cdot \frac{R^2}{r^2}$$

wenn  $R$  und  $r$  die Abstände der zu messenden Lichtquelle und der Benzinflamme von den zugehörigen Platten bezeichnen. Statt der Benzinflamme kann auch eine elektrische Normallampe verwendet werden. Die Photometerkonstante  $c$  ist abhängig von der Stärke der Normallampe und der Beschaffenheit der Milchglasplatten. Sie wird wieder bestimmt durch Eichung mit einer zweiten Normallampe, und zwar ist

$$c = J_1 \cdot \frac{r_1^2}{R_1^2}$$

wenn  $J_1$  die Lichtstärke dieser Lampe und  $R_1$  und  $r_1$  die Abstände der Lampen von den zugehörigen Platten bedeuten. Die Konstanten der Platten werden vorher bestimmt.

## 12. Das Sockeln und Verlöten der Lampen.

Die Sockel haben die Aufgabe, im Verein mit den zugehörigen Fassungen eine sichere Verbindung herzustellen zwischen den Stromzuführungsdrähten der Lampen und den Kontakten des elektrischen Leitungsnetzes. In Abb. 111 sind die gebräuchlichsten Sockeltypen dargestellt. Die Stromzuführungsdrähte werden mit zwei gut voneinander isolierten Metallteilen des Sockels leitend verbunden, welche beim Einsetzen der Lampen mit zwei ebenfalls voneinander isolierten Kontakten der Fassung zur Berührung gebracht werden. Diese sind ihrerseits an die beiden Pole der Stromzuleitung angeschlossen. Bei den in Deutschland üblichen Edisonsockeln wird der eine Stromzuleitungsdraht mit dem Gewinde, der andere Stromzuleitungsdraht mit einer kleinen Metallplatte an der Kuppe des Sockels verlötet. Statt der früher gebräuchlichen Porzellanisolierung zwischen Gewinde und Platte verwendet man heute eine Glasisolierung.

Die Sockel werden an den Lampen durch Ankitten befestigt. Als Kitt dient Alabastergips, welcher mit einer alkoholischen Schellacklösung zu einem Brei angerührt wird. Von diesem Brei wird ein wenig in den Sockel gestrichen, darauf der eine Stromzuführungsdräht durch ein kleines Loch

in der oberen Platte geführt, der andere Draht heruntergebogen und der Sockel auf die Lampe aufgesetzt. Die Lampen werden dann in eine Schnellkittmaschine eingespannt. Abb. 112 zeigt eine Karusselsockelmaschine der Glüh-

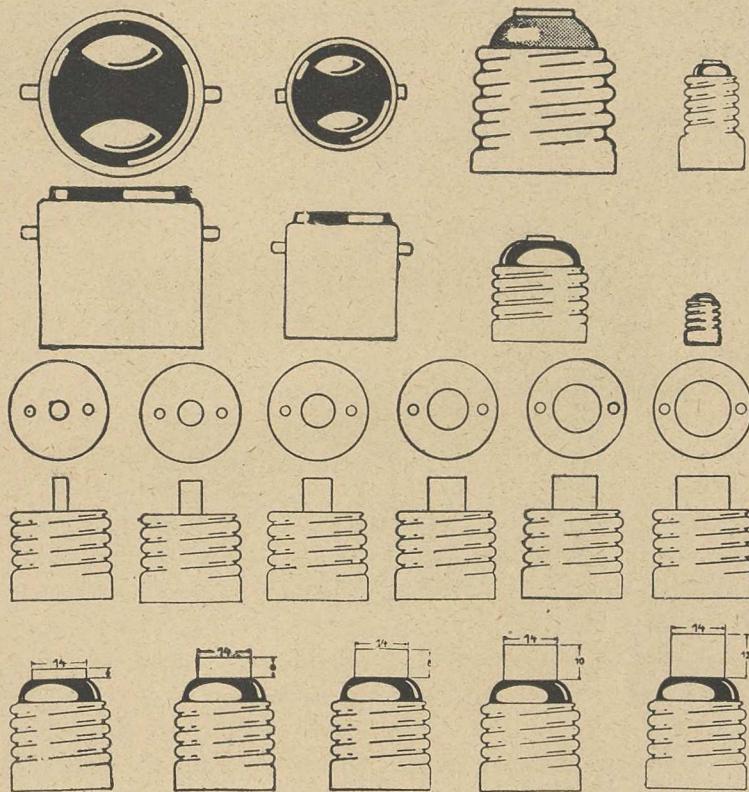


Abb. 111.

l a m p e n b e d a r f - G. m. b. H. mit Zentriervorrichtung zum Festhalten der Lampen. Derartige Maschinen sind gewöhnlich zur Aufnahme von 25 bis 30 Lampen eingerichtet. Durch Drehen des Kranzes werden die Lampen durch den von Gasflammen erhitzten Tunnel geführt. Da der Alkohol leicht verdampft, bindet der Kitt in der Hitze sehr schnell, so daß die Sockel bereits nach Verlassen des Tunnels fest mit der

Lampe vereinigt sind. Die aus dem Tunnel herauskommen den Lampen werden fortlaufend durch neue ersetzt. Der Schellack verleiht dem Gips eine größere Bindefähigkeit bei der beim Gebrauch eintretenden Erwärmung des Sockels.

Die Stromzuführungsdrähte werden mit dem Sockel verlötet. Der meistens verwendete Lötapparat besteht aus

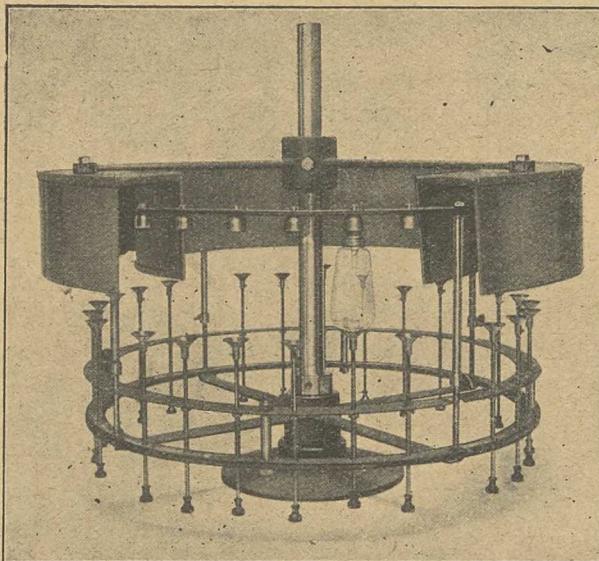


Abb. 112.

einem Eisenrohr, welches mit Wärmeisolierung versehen ist. Aus demselben ragt ein Lötkolben heraus, welcher im Innern des Apparates durch Gasheizung erwärmt wird. Auch elektrisch heizbare Lötapparate haben sich gut bewährt. Das verwendete Lötfußmittel muß möglichst säurearm sein. Meistens werden Lötzinne verwendet, welche das Lötfußmittel bereits enthalten. Nach dem Löten werden die überflüssigen Drahtenden abgeschnitten. Zur Loslösung der Sockel bei mangelhaft gesockelten Lampen erhitzt man diese am besten im Wasserbade.

### 13. Fertigstellung der Lampen bis zum Versand.

Schließlich werden die Lampen sorgsam gereinigt und dann gestempelt. Zum Stempeln der Glasglocken (Firmenbezeichnung usw.) benutzt man am häufigsten Kautschukstempel, welche mit einer flußsäurehaltigen Ätzflüssigkeit angefeuchtet werden.

Das Stempeln der Sockel (Spannung, Kerzenzahl usw.) geschieht mit Metallätze.

Sollen die Lampen mattiert werden, so taucht man sie in eine Mattätze ein. Die Mattätzen können mancherlei Zusammensetzung haben, doch ist das wirksame bei allen die Fluorwasserstoffsäure. Man kann verwenden: Fluorammon 125 Gewichtsteile, Fluorwasserstoffsäure 5, Schwefelsäure 25 und Wasser 125 Gewichtsteile, oder Fluorkalium und Schwefelsäure zu gleichen Mengen in der zehnfachen Gewichtsmenge Wasser.

Wünscht man eine intensive Lichtausstrahlung nach einer Richtung, so werden die Lampen mit einem Silberspiegel versehen. Man kann die Lampen in eine 1%ige schwach ammoniakalische Silbernitratlösung eintauchen, der man als Reduktionsmittel den halben Raumteil einer 1%igen Formaldehydlösung zusetzt. Man kann auch die ammoniakalische Silbernitratlösung mit etwas Ätznatron versetzen und als Reduktionsmittel Seignettesalz oder Milchzucker zusetzen. Bei gewöhnlicher Temperatur erscheint der Spiegel nach einigen Minuten, beim schwachen Anwärmen sofort. Allerdings muß ein Überschuß an Ammoniak vermieden werden. Die Glühlampen müssen vor dem Versilbern gut poliert und sehr sorgfältig von jeder Spur Fett befreit sein. Am sichersten würde man das Entfetten durch Abwaschen mit Alkohol erreichen. Da derselbe zu teuer ist, benutzt man in der Fabrik Ätzkalk, welcher mit etwas ammoniakhaltigem Wasser angerührt wird. Die Lampen erhalten als Schutzüberzug einen Lackanstrich oder werden galvanisch verkupfert.

Auch farbige Lampen werden hergestellt. Solche aus farbigem Glase, wie man sie u. a. in der Photographie verwendet, stellen sich sehr teuer. Wo es angängig ist, werden die Lampen daher nachträglich gefärbt, und zwar durch Ein-tauchen der brennenden Lampen in Tauchlacke, welche in allen Farben im Handel zu haben sind.

---

---

---

## Anhang.

### Lumineszenzlampen.

Lumineszenzstrahler unterscheiden sich von den Temperaturstrahlern grundlegend dadurch, daß sie das Licht nicht als Folgeerscheinung hoher Erhitzung, sondern unmittelbar erzeugen: Sie senden *kaltes* Licht aus. Die Lichterreger in den Körpern sind stets die Elektronen, welche auf Grund von außerordentlich raschen Vibrations- oder Rotationsbewegungen den umgebenden Äther in Wellenbewegung versetzen. Um beide Strahlungsarten ihrem Wesen nach zu charakterisieren, gibt Prof. Lummel folgendes anschauliche Bild: Er vergleicht die Elektronen mit Glocken, welche in einem Turm aufgehängt sind. Einen Körper auf Grund von Temperaturerhöhung zur Strahlung zu bringen, würde dem Beginnen gleichen, den ganzen Turm in Bewegung zu versetzen, um die Glocken zum Schwingen und Tönen zu bringen, während die Erzeugung von Lumineszenzleuchten der Erregung der einzelnen Glocken selbst gleichen würde. Während die Gesetze der Temperaturstrahlung so gut wie vollständig bekannt sind, sind die Gesetzmäßigkeiten der Lumineszenzstrahlung noch wenig erforscht. Es ist nach oben gesagtem jedoch ohne weiteres einleuchtend, daß diese ideal selektiven Strahler für eine ökonomische Lichterzeugung die beste Aussicht bieten. Während mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, daß die eigentliche elektrische Glühlampe in der Wolframlampe bereits den Abschluß ihrer Entwicklung gefunden hat, geben die Lumineszenzlampen berechtigte Hoffnung, uns auf dem Wege zur idealen Lampe weiter fortschreiten zu lassen. Die Lumineszenzlampen stehen erst am Anfang ihrer Entwicklung und sind technisch noch nicht so weit durchgebildet, daß sie den Glühlampen

an Brauchbarkeit gleichkommen. Vielmehr ist ihre Anwendung bisher auf einige Sondergebiete beschränkt.

Lumineszenzleuchten läßt sich künstlich u. a. durch elektrische Entladungen in stark verdünnten Gasen hervorrufen.

Die Erscheinungen sind uns anläßlich der Beschreibung der Zerstäubungerscheinungen in den elektrischen Glühlampen und der Prüfung des Vakuums bereits begegnet. Sie wurden zuerst von Gassiot und dann von Plücker in den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts an den bekannten Geißlerschen Röhren experimentell untersucht. Das Leuchten tritt auf, wenn etwa in einer Glasröhre zwischen zwei an den Enden der Röhre eingeschmolzenen Elektroden (Metallplatten oder dgl.) ein elektrischer Strom übergeht. Das Gas in der Röhre ist nur dann stromleitend, wenn es bis auf wenige Millimeter Druck verdünnt ist. Stehen die beiden Elektroden unter einer hinreichend hohen Spannungsdifferenz, so werden aus der einen — Kathode genannt — die Elektronen in den Gasraum ausgestoßen. Ganz zu Anfang bewegen sie sich nur mit sehr geringer Geschwindigkeit, werden aber sogleich so kräftig von der anderen Elektrode — Anode genannt — angezogen, daß sie eine außerordentlich große Geschwindigkeit erlangen. Dabei treffen sie mit hoher Stoßkraft auf die in der Röhre verbliebenen Gasmoleküle auf, so daß diese ihrerseits in elektrisch geladene Bestandteile zerfallen (Ionisation), welche sich aber wahrscheinlich wieder zusammenschließen, um stets von neuem durch das Bombardement der Elektronen getrennt zu werden. Die wunderbaren Lichterscheinungen einer solchen Röhre sind, wie man annimmt, als Folgeerscheinungen dieser Wechselwirkung anzusprechen. Die Röhren erfahren während des Leuchtens kaum eine Erwärmung.

## I. Das Moorelicht.

Im Jahre 1904 gelang es dem Amerikaner MacFarlane Moore nach vieljähriger Arbeit, diesen Geißlerröhren, welche

bis dahin nur als Laboratoriumsversuch durch ihr wunderbar schönes Licht das Auge des Beschauers erfreuten, zu prak-

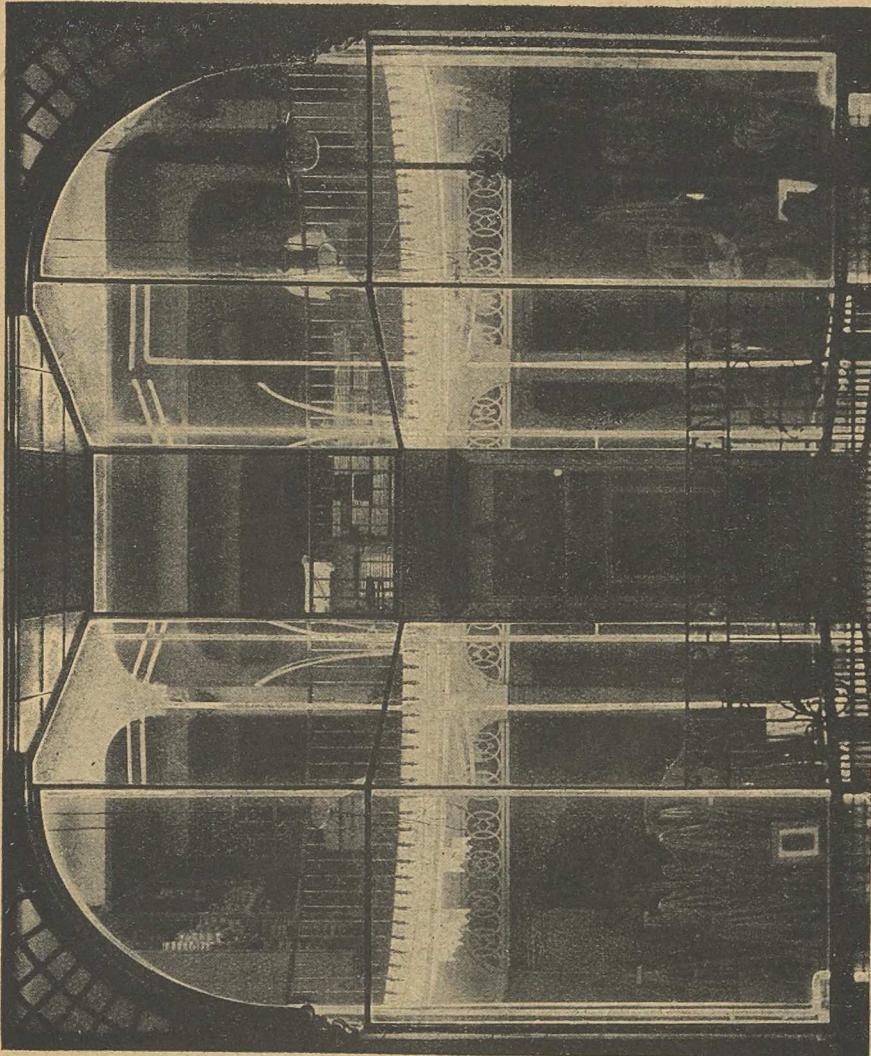


Abb. 113.

tischer Bedeutung zu verhelfen. Die Geißlerschen Röhren waren für Dauerbeleuchtung ohne weiteres nicht zu ver-

wenden, da die Gase während des Glühens von den Glaswandungen adsorbiert werden und das Licht infolge des zu hohen Vakuums bald verlischt. Moore gelang es, durch Erfindung einer mechanischen Luftdruckregelung diesen Übelstand zu beseitigen.

In Abb. 113 ist eine sehr wirkungsvolle Schaufensterbeleuchtung durch Moorelicht dargestellt. Ein vielfach ge-

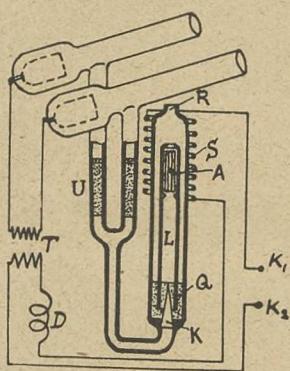


Abb. 114.

wundenes Röhrensystem aus Glas ist in seiner ganzen Länge von dem wundervollen Geißlerlicht angefüllt. Anfang und Ende des Rohres enthalten je eine Graphitelektrode und sind gemäß Abb. 114 einander benachbart angeordnet. Die Abbildung stellt den Vakuumregulator dar. Bei  $K_1$  und  $K_2$  wird ein Wechselstrom gewöhnlicher Spannung angeschlossen. Derselbe durchläuft die Spule  $S$  und die Primärwicklung eines Transformators  $T$ , welcher den Strom auf mehrere Tausend Volt

Spannung bringt. Die Spannung muß um so höher sein, je länger die Röhren sind. Die Sekundärspule ist mit den Elektroden des Leuchtröhres verbunden.  $R$  ist ein Rohr, in welchem sich Quecksilber  $Q$  befindet. Dieses Rohr ist einerseits mit einem unter Atmosphärendruck stehenden Gasvorrat verbunden und andererseits durch einen porösen Kohlekegel  $K$  verschlossen. In das Quecksilber taucht ein zweites mit  $R$  kommunizierendes Rohr  $L$ . Wird der Strom in der Röhre infolge erhöhten Vakuums schwächer, so wird infolge der geringeren Belastung des Primärstromes der durch die Spule  $S$  gehende Strom stärker, so daß ein Eisenkern  $A$  und mit ihm die Röhre  $L$  etwas angehoben wird. Dadurch sinkt der Quecksilberspiegel  $Q$  und gibt die Spitze des Kohlekegels  $K$  frei. Eine geringe Menge Gas dringt durch den-

selben hindurch und gelangt in das Lichtrohr. Der Regler arbeitet etwa zweimal in der Minute. In dem Gabelrohr *N* befindet sich eine Sandfüllung, welche eine gleichmäßige Verteilung der eintretenden Gase bewirkt und ein Kurzschließen des Anfangs und des Endes der Röhre verhindert. *D* ist eine Drosselspule, welche den Regulator vor Stromschwankungen im Leitungsnetz bewahrt. Das Einschalten erfolgt genau wie bei den Glühlampen durch Momenthebel oder Dosen-Schalter; irgendwelches Zucken oder Flackern tritt nicht ein; das Licht ist sofort in der vollen Länge des Rohres vollkommen ruhig.

Durch verschiedene Gasfüllungen lassen sich ganz verschiedene Lichtfarbungen erzielen. Bei Stickstofffüllung ist das Licht gelblich-rosa, während eine Kohlensäurefüllung das zurzeit vollkommenste künstliche Tageslicht liefert. Die erste Lampengattung hat einen spezifischen Effektverbrauch von etwa 1,5 W/HK, während bei der zweiten 4 Watt für die Hefnerkerze verbraucht werden. Die Röhren mit Kohlensäurefüllung haben vielfach da Verwendung gefunden, wo es auf einwandfreie Unterscheidung von Farbstoffen ankommt, nämlich in Farbenfabriken, Färbereien, Verkaufsräumen usw. Das Moorelicht ist beliebt wegen seiner angenehmen, diffusen Strahlung. Abb. 115 zeigt ein transportables Lichtfenster.

Zum Nachfüllen von Stickstoffgas leitet man Luft vor dem Eintritt in das Ventil über Phosphor, wodurch der Sauerstoff absorbiert wird und genügend reiner Stickstoff hinterbleibt. Kohlensäuregas wird in einem Behälter mit Marmor und Salzsäure erzeugt. Nach 1000 bis 1500

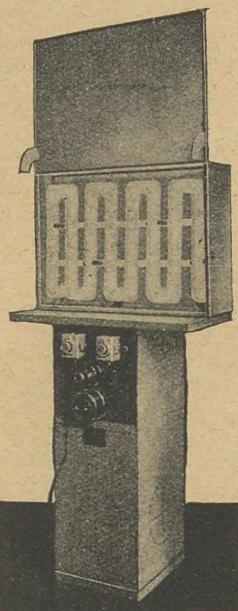


Abb. 115.

Brennstunden müssen die selbsttätig wirkenden Gaserzeuger ausgewechselt werden. Es ist zweckmäßig, die Röhren nach längerer Zeit zu öffnen, zu evakuieren und neu zu füllen. Der Vertrieb liegt in Händen der Aktiengesellschaft für Elektrizitäts-Industrie, Berlin.

## 2. Die neue Glimmlampe für niedrige Spannungen.

Im Jahre 1918 ist es gelungen, derartige Lampen auch für geringere Spannungen herzustellen, und zwar werden sie gegenwärtig für Gleichstrom von 180 bis 250 Volt und für Wechselstrom von 140 bis 250 Volt angefertigt. Die Abb. 116

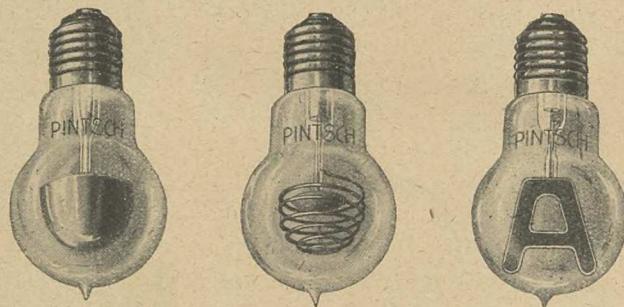


Abb. 116.

zeigt einige Glimmlampen der Julius Pintsch - A. - G. Als Füllgas wird seiner geringen dielektrischen Festigkeit halber das Edelgas Neon bzw. ein Gemisch von Neon und Helium verwendet, welches als Abfallprodukt der technischen Luftverflüssigung wohlfeil zu haben ist. Bei der linken Lampe dient eine große, meist aus Eisenblech gefertigte Metallfläche als Kathode, während die Anode in Form eines kleinen Metallstiftes der ersteren in etwa 3 mm Abstand benachbart angeordnet ist. Bei Durchgang des Stromes überzieht sich das Metallblech gleichmäßig mit einem rötlich schimmernden Kathodenlicht. Bei Wechselstrom werden beide Pole in schneller Aufeinanderfolge abwechselnd zur Anode und Kathode, und leuchten daher beide. Die mittlere Lampe

ist besonders für Wechselstrom konstruiert, ist aber unter Zusatz von Quecksilberdampf zum Füllungsgas auch für Gleichstrom zu verwenden. Die Glimmlampen haben einen sehr geringen Energieverbrauch von 4 bis 5 Watt, liefern allerdings auch nur eine Lichtstärke von etwa 0,7 bis 1 HK<sub>max</sub> oder 0,3 HK<sub>hor</sub>, so daß die Lichtausbeute sehr gering ist. Doch sind sie überall da mit Vorteil zu verwenden, wo es sich um orientierende Beleuchtung oder markante Lichtpunkte bei möglichst geringem absoluten Stromverbrauch handelt, z. B. für Notbeleuchtung, Reklamebeleuchtung (Buchstabenlampen, Abb. 116, 3), für Signalzwecke oder zur Beleuchtung von Lagerräumen u. a. m. (vgl. E. T. Z. 1921, Heft 6). Die Lampen werden mit den gewöhnlichen Edisonsockeln versehen. Die Durchschnittsbrenndauer ist über 1000 Stunden. Für Gleichstrombetrieb können die Lampen mit einem Zwischenstöpsel zur Umpolung der Fassung ausgerüstet werden. Kleine Kontrollämpchen werden mit einem Stromverbrauch bis zu 0,2 Watt hergestellt.

### 3. Die Neonbogenlampe.

Eine Mittelstellung zwischen dem Moorelicht und der Glimmentladungslampe nimmt die Neonbogenlampe ein. Während das Moorelicht nur für außerordentlich hohe Spannungen geeignet ist und in den Glimmentladungslampen nur das sog. Kathodenglimmlicht der Lichterzeugung nutzbar gemacht wird, findet in dieser letzteren eine Bogenentladung bei gewöhnlicher Spannung (110 und 220 Volt) statt. Als Füllgas wird ebenfalls Neon oder ein Neon-Heliumgemisch verwendet, welches sich verhältnismäßig leicht ionisieren läßt. Die Anode besteht meist aus Eisen oder Nickel während die Kathode aus Natriumamalgam oder anderen Alkalimetallelegierungen oder aus metallischem Thallium besteht, welches zur Erniedrigung seines Schmelzpunktes mit etwas Kadmium legiert ist.

Eine solche von Dr. F. Schröter<sup>1)</sup> konstruierte Neonbogenlampe ist in Abb. 117 schematisch gezeichnet. In dem schleifenförmigen Leuchtrohr 1 (welches jede beliebige Form annehmen kann) sind eine Anode 2 und eine Thallium-Kadmiumkathode 3 luftdicht eingeschmolzen. Diese letztere befindet sich in einem Kondensationsraum für das verdampfende Elektrodenmaterial. Um das Edelgas stromleitend zu machen, muß es durch einen Hochspannungsstoß

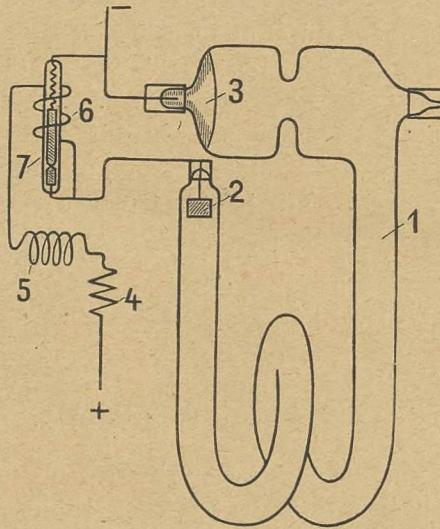


Abb. 117.

ionisiert werden. Da der Widerstand in der Leuchtröhre sich ändert, ist ein Vorschaltwiderstand 4 vorgesehen. Die Anlaßapparatur besteht aus einer Selbstinduktionsspule 5 und einer Erregersspule 6 für den Vakuumunterbrecher 7. Die beiden Kontakte dieses Unterbrechers liegen im Nebenschluß zu den Elektroden der Lampe. Wird der Strom eingeschaltet, so wird der obere Kontakt von dem unteren durch die Erregersspule 6 schnell abgehoben. In den Windungen von 5 und 6 entsteht infolge der plötzlichen Stromunterbrechung eine

<sup>1)</sup> E. u. M. Wien, Jahrgang 36, 1918, Heft 35.

hohe Spannung, welche sich über die Elektroden der Röhre 1 ausgleicht. Dadurch wird das Edelgas ionisiert und der Lichtbogen entzündet. Der Lampenstrom durchfließt die Erregerspule 6 dauernd und hält die Unterbrecherkontakte geöffnet. Vorschaltwiderstand und Zündvorrichtung sind in die Armatur der Lampe eingebaut.

Die Lichtfarbe der Neonlampe ist blutrot, so daß sie zur Allgemeinbeleuchtung ebenfalls nicht geeignet ist und ihr Anwendungsgebiet auf Effekt- und Signalzwecke sowie Reklamebeleuchtung beschränkt bleibt. Die Lampe hat einen sehr günstigen Effektverbrauch von 0,5 W/HK. Sie wird hergestellt von der Jul. Pintsch-A.-G. und der Aktiengesellschaft für Elektrizitäts-Industrie, Berlin. Ihre Brenndauer soll mehr als 1000 Stunden betragen.

#### 4. Quecksilberdampflampen.

Zur Gattung der Bogenlampen gehört die Quecksilberdampflampe, welche ebenfalls fast ausschließlich Lumineszenzlicht aussendet. Sie beruht ebenfalls auf dem Prinzip der ionisierenden Wirkung einer Elektronenemission, wie die Neonbogenlampen und das Moorelicht, nur daß an die Stelle der Gase Quecksilberdampf tritt.

Die Lampen sind in zweierlei Typen auf den Markt gekommen, welche man als Niederdruck- und Hochdruck-Quecksilberdampflampe unterscheidet. Bei der ersteren wird der Lichtbogen in einem evakuierten Glasrohr erzeugt. Als Kathode dient flüssiges Quecksilber, die Anode wird gewöhnlich aus Eisen, Kohle oder Graphit hergestellt. Soll die Lampe bei 110 Volt Spannung brennen, so muß die Länge der Röhre 50 bis 100 cm betragen. Um die Lampe zu zünden, wird die Röhre gekippt, so daß das Quecksilber eine leitende Verbindung zwischen Kathode und Anode herstellt. Sobald die beiden Elektroden sich trennen, entsteht der Lichtbogen, welcher die ganze Röhre erfüllt, wenn das

Quecksilber sich unten gesammelt hat. Die Kathode bleibt während des Betriebes heiß, so daß das Quecksilber verdampft. Der Dampf wird dann dauernd an der Glaswand kondensiert und fließt zur Kathode zurück.

Das Licht der Quecksilberdampflampe ist zwar sehr hell, aber für die Allgemeinbeleuchtung nicht tauglich, da es eine häßliche, ausgesprochen grünlich-blaue Färbung hat, die Gesichter geisterhaft fahl erscheinen läßt und Farben in dem Lichte völlig falsch bewertet werden. Hingegen ist es seines eigenartigen Glanzes wegen als Schaufensterbeleuchtung für Bijouterien und ähnliches sehr beliebt. Da das Licht besonders reich an kurzweligen, chemisch wirksamen Strahlen ist, leistet es der Photographie und Medizin gute Dienste. Gewöhnliches Glas ist allerdings für diese kurzweligen Strahlen undurchlässig. Man wählt daher als Umhüllung für den Lichtbogen ein von dem Jenaer Glaswerk Schott und Genossen hergestelltes Spezialglas, welches für ultraviolette Strahlen ziemlich durchlässig ist und deshalb Violglas genannt wird. Die Lampe arbeitet mit einem sehr günstigen spezifischen Effektverbrauch von etwa  $0,5 \text{ W}/\text{HK}_{\text{hor}}$ .

Größere Bedeutung hat gegenwärtig die Hochdruck- oder Quarz-Quecksilberlampe. Statt der Glasröhren werden solche aus durchsichtigem Quarz verwendet. Diese sind der ersteren in zweierlei Hinsicht überlegen. Erstens vertragen sie sehr hohe Temperaturen und sind gegen plötzliche Temperaturschwankungen vollständig unempfindlich, und zweitens haben sie eine sehr hohe Durchlässigkeit für die kurzweligen ultravioletten Strahlen. Die Quarzlampen können infolgedessen mit erhöhter Temperatur und erhöhtem Dampfdruck betrieben werden, so daß die Abmessungen des Lampenkörpers sehr gering genommen werden können. Beispielsweise ist das Leuchtrohr einer normalen Lampe für 110 Volt nur etwa 7 cm lang bei einem Durchmesser von etwa 5 mm. Die Lampen waren ursprünglich nur mit Gleichstrom zu betreiben, werden aber neuerdings auch für direkten Anschluß an Wechselstrom hergestellt.

Bei der Hochdrucklampe bestehen beide Elektroden aus Quecksilber, welches sich an den Enden der Röhre in Polgefäßen aus Quarz befindet. Die Lampe wird horizontal gelagert und ebenfalls durch Neigen gezündet. Das Zünden erfolgt entweder von Hand oder durch eine automatische Zündvorrichtung. Da die Lampe beim Zünden einen sehr geringen Widerstand hat, muß sie zur Aufnahme der hohen Anlaufstromstärke mit einem starken Vorschaltwiderstand versehen sein. Der Anlaufstrom geht in 5 bis 10 Minuten, anfangs schnell, später langsamer abnehmend, auf die normale Stromstärke zurück. Das Licht der Hochdrucklampen ist nicht ganz so häßlich, wie das der Niederdrukklampen, da neben dem typischen Quecksilberlicht auch geringe Mengen rote und gelbe Strahlen ausgesandt werden. Soll die Lampe zur Allgemeinbeleuchtung benutzt werden, so muß sie von einer Glasglocke umgeben sein, um die von dieser Lampe besonders intensiv ausgestrahlten physiologisch wirksamen ultravioletten Strahlen aufzufangen. Diese letzteren haben ihr andererseits ein weites, fruchtbare Anwendungsgebiet in der Medizin erschlossen (künstliche Höhensonnen). Außerdem tötet das Licht Bakterien ab, weswegen es zur Trinkwasser-sterilisation Verwendung findet. Eine Jesionek-Höhen-sonne ist in Abb. 118 und der Brenner noch einmal gesondert in Abb. 119 dargestellt. Die Polgefäß sind außen von einstellbaren, fächerartig angeordneten Metallblechen umgeben, welche als Kühler für die Pole dienen, wodurch die Wärmeabgabe und damit die Stromstärke in der Lampe geregelt wird. Herstellerin ist die Quarzlampen-G.m.b.H. Hanau.

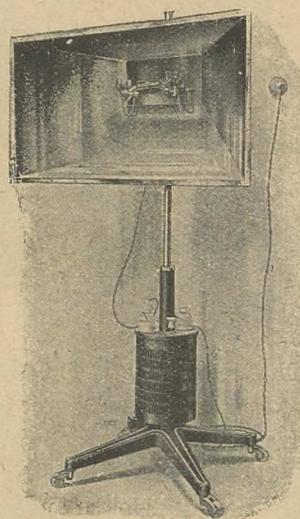


Abb. 118.

Die Quecksilberlampen werden für Lichtstärken von 500 bis 3000 HK<sub>0</sub> bei einem spezifischen Effektverbrauch von nur 0,4 bis 0,25 W/HK<sub>0</sub> hergestellt. Die Stromstärken in den Lampen betragen 1,5 bis 8 Amp., die Anlaufstromstärke bis ca. 16 Amp. Für die Lebensdauer werden 1000 Stunden garantiert, sie beträgt aber meistens 2000 Stunden und mehr.

Der Quecksilberdampflampe verwandt ist die Metall-dampflampe von Wolfke (1912), welche einen Versuch dar-

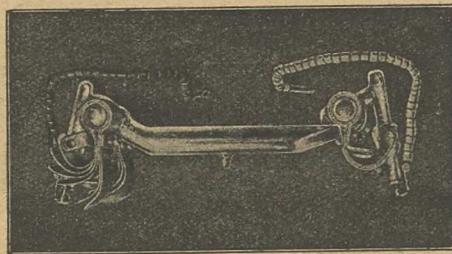


Abb. 119.

stellt, die Farbe der Quecksilberlampe zu verbessern. Die Elektroden dieser Lampe bestehen aus einer festen Legierung von Kadmium und 3 bis 10% Quecksilber. Tatsächlich strahlt diese Lampe beträchtliche Mengen roten Lichtes aus. Sie soll den gleichen spezifischen Effektverbrauch aufweisen, wie die Quecksilberdampflampe. Über die praktische Verwendbarkeit ist bisher nichts bekannt geworden. (Wolfke, E. T. Z. 33 917, 1912.)

