

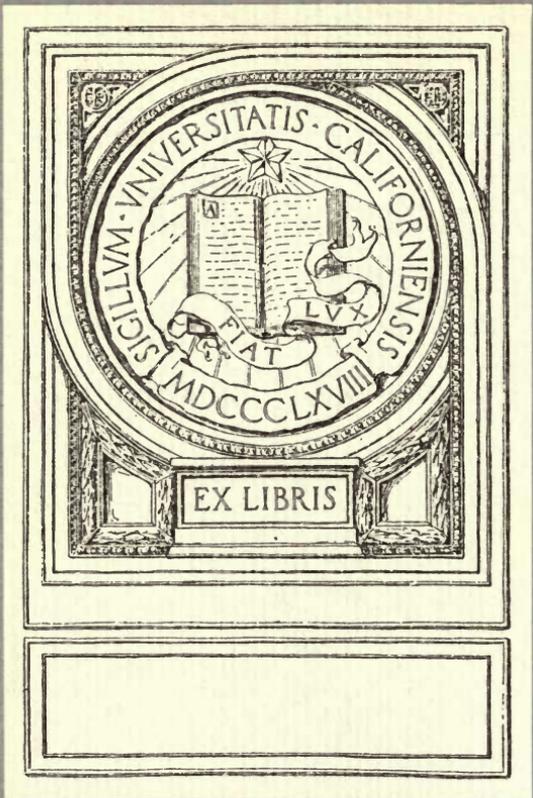
UC-NRLF



B 4 501 065

N. L. MÜLLER

DIE FABRIKATION UND  
EIGENSCHAFTEN  
DER METALLDRAHTLAMPEN



EX LIBRIS





Die  
**Fabrikation und Eigenschaften**  
der  
**Metalldrahtlampen.**

Von  
**Dr. phil. N. L. Müller.**

Mit 91 in den Text gedruckten Abbildungen.



**Halle a. S.**  
Druck und Verlag von Wilhelm Knapp.  
1914.

2/16/21

TK4351  
M8

no view  
AUGUST 1920

10.1.21

# Meinen Eltern

gewidmet.

429964



## Vorwort.

Ein Buch über die Fabrikation der Metalldrahtlampen entspricht dem Bedürfnis der Zeit. Eine gewaltige Industrie hat sich in dem letzten Jahrzehnt entwickelt; vom rein industriellen Standpunkt betrachtet, ist sie sehr wichtig und von einer noch viel größeren volkswirtschaftlichen Bedeutung.

Ausgelöst durch die Osmiumlampe Auer von Welsbachs, des genialen Erfinders des Gasglühlichtes, wurden in die Industrie der elektrischen Glühlampen die modernsten Erfahrungen der Naturwissenschaften und Technik hineingetragen, eine Unzahl von geistreichen Erfindungen gemacht und die Popularisierung des elektrischen Lichtes durchgeführt.

Wohl wurde in einer Anzahl von Werken und Fachblättern über die Industrie der Metalldrahtlampen und deren Entwicklung berichtet, eine zusammenfassende Beschreibung dieser Industrie lag bis heute jedoch noch nicht vor. Diesen Mangel versucht nun das vorliegende Buch zu beheben.

Eine ungemein verstreute und umfangreiche Literatur wurde hier von dem Verfasser, der selbst jahrelang im Zentrum der modernen Glühlampenindustrie tätig war, in kritischer Weise zusammengetragen und in leicht faßlicher Form dargestellt. Es soll damit allen jenen Interessenten, die sich über die Entwicklung und den augenblicklichen Stand der Glühlampenindustrie informieren wollen, gedient werden. Dem Laien dürfte der populäre Ton, dem Fachmann die sorgfältige Berücksichtigung der Patentliteratur, sowie der Ausblicke der Industrie für die Zukunft willkommen erscheinen. Die möglichst weiten Kreise für die aufblühende Industrie zum Wohl derselben zu interessieren, das ist der Zweck des Buches und Wunsch des Verfassers.

Dem Verfasser wäre es nicht möglich gewesen, das vorliegende Buch zu schreiben, ohne die Hilfe, welche ihm gewährt wurde von dem Generaldirektor der Westinghouse Metallfaden-Glühlampenfabrik

in Wien, Herrn Anton Lederer, durch freundlichste Überlassung der Fachliteratur und Patentschriften, sowie durch die vielen Ratschläge des hervorragenden Fachmannes. Hier sei dem ergebensten Dank dafür Ausdruck verliehen.

Zu großem Dank ist auch der Verfasser mehreren Firmen für die freundliche Überlassung von Photographien, Klischees, Zeichnungen und Beschreibungen von Apparaten verpflichtet.

Wien, im Dezember 1913.

**Der Verfasser.**

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Geschichtliches . . . . .	I
Die physikalischen Gesetze der Temperaturstrahlung . . . . .	4
Das Stefan-Boltzmannsche Gesetz der Gesamtstrahlung . . . . .	5
Das Energiemaximum der Strahlung . . . . .	5
Der absolut schwarze Körper . . . . .	6
Selektive Strahler . . . . .	7
Ziele der Leuchttechnik vom Standpunkt der Strahlungstheorie . . . . .	10
Die Metalldrahtlampen und ihre Fabrikationsmethoden . . . . .	11
Einleitung . . . . .	11
Die Tantallampe . . . . .	12
Tantalzerze . . . . .	12
Darstellung und Eigenschaften des Tantalmetalls . . . . .	13
Der Bau und Eigenschaften der Tantallampen . . . . .	15
Die Osmiumlampe . . . . .	19
Gewinnung des Osmiums . . . . .	19
Darstellung und Eigenschaften des Osmiummetalls . . . . .	19
Auer von Welsbachs Verfahren zur Herstellung von Glüh- fäden aus Osmium . . . . .	20
Legierungsverfahren . . . . .	20
Osmiumkohleverfahren . . . . .	20
Oxydzusatzpatente . . . . .	22
Bau und Eigenschaften der Osmiumlampen . . . . .	24
Die Wolframlampen . . . . .	27
Wolframerze . . . . .	27
Aufarbeitung der Wolframerze . . . . .	28
Wolframsäure . . . . .	29
Darstellung des Wolframmetalls . . . . .	30
Das Wolframmetall, seine physikalischen und chemischen Eigen- schaften . . . . .	33
Das Molybdänmetall, seine Darstellung und Eigenschaften . . . . .	35
Verfahren zur Herstellung von Wolframleuchtkörpern . . . . .	37
Das Substitutionsverfahren . . . . .	37
Die Wolframspritzverfahren . . . . .	40
Verfahren mit organischen Bindemitteln . . . . .	40
Verfahren mit anorganischen Bindemitteln . . . . .	48
Kolloidverfahren . . . . .	48
Amalgamverfahren . . . . .	50
Biegsame Fäden nach dem Wolframspritzverfahren (Thorium- dioxiverfahren . . . . .	51

	Seite
Formierautomate und Massenformierung für das Wolframspritzverfahren . . . . .	54
Die Wolframziehverfahren und die Darstellung streckbaren Wolframs . . . . .	57
Die Verfahren der Firma Siemens & Halske . . . . .	58
Die Verfahren der General Electric Company in Amerika . . . . .	62
Die Herstellung des duktilen Wolframs . . . . .	64
Herstellung des Metallpulvers . . . . .	64
Pressen und Vorsinterung der Wolframstäbe . . . . .	65
Sinterung der Wolframstäbe . . . . .	65
Die Hämmermaschine und deren Anwendung . . . . .	68
Das Ziehen des Wolframdrahtes . . . . .	72
Die Patentfähigkeit des Wolframziehverfahrens der G. E. C. . . . .	81
Neue Verfahren zur Herstellung von bearbeitbarem Wolframmetall . . . . .	86
Die Herstellung der Diamantziehsteine . . . . .	90
Das Bohren der Diamanten . . . . .	91
Das Polieren der Diamantdüsen . . . . .	92
Die mechanischen Polierverfahren . . . . .	92
Bau der Wolframlampen . . . . .	96
Charakteristische Lampentypen . . . . .	98
Der Aufbau der Glühlampen . . . . .	102
Glasoperationen . . . . .	103
Platin und Platinersatz für Glühlampenzwecke . . . . .	105
Halterung der Leuchtkörper . . . . .	108
Das Montieren der Leuchtkörper . . . . .	111
Die Wickelpatente . . . . .	114
Das Einschmelzen . . . . .	117
Das Entlüften der Lampen . . . . .	118
Quecksilber- und Ölpumpen . . . . .	118
Die Molekularluftpumpe . . . . .	119
Der Entlüftungsvorgang . . . . .	125
Verfahren zur Verbesserung des Glühlampenvakuums . . . . .	128
Vakuumprüfung an fertigen Glühlampen . . . . .	132
Photometrierung . . . . .	132
Das Sockeln der Lampen . . . . .	133
Das Verhalten der Wolframlampe beim Brennen . . . . .	134
Der Wolframleuchtkörper . . . . .	134
Strukturveränderung beim Brennen . . . . .	135
Verfahren zur Verminderung der Strukturveränderung . . . . .	137
Zerstäubung . . . . .	140
Das Glühlampenvakuum . . . . .	141
Die elektrischen Erscheinungen im Glühlampenvakuum . . . . .	142
Die Gasströme . . . . .	143
Der Edisoneffekt . . . . .	145
Der positive Effekt . . . . .	148
Die Füllungslampen . . . . .	151
Die Halbwatt-Wolframlampe mit Stickstofffüllung . . . . .	155

	Seite
Allgemeine Eigenschaften der Wolframlampen . . . . .	160
Der Wolframdraht als Leuchtkörper . . . . .	160
Temperatur bei verschiedenen Belastungen . . . . .	161
Flächenhelle . . . . .	161
Der positive Temperaturkoeffizient . . . . .	162
Selbstregulierung bei Spannungsschwankungen, Zündstrom . . . . .	164
Der spezifische Effektverbrauch und Nutzeffekt der Wolframlampe . . . . .	164
Die Lebensgeschichte der Wolframlampen . . . . .	166
Die Konstante der Wolframlampen . . . . .	169
Energieverluste in der Lampe durch Wärmeleitung . . . . .	172
Lichtfarbe und Lichtverteilung der Wolframlampen . . . . .	174
Stoßfestigkeit der Wolframlampen . . . . .	178
Das Flimmern der Wolframlampen im Wechselstrom . . . . .	179
Die Wirtschaftlichkeit im Betrieb und Preis . . . . .	181

---



11111111 11111111  
 11111111 11111111  
 11111111 11111111  
 11111111 11111111

## Geschichtliches.

Der Gedanke, den elektrischen Strom für Beleuchtungszwecke zu verwenden, tauchte bereits mit der Erfindung des galvanischen Elementes von Volta auf. Sehr bald machte man die Beobachtung, daß durch genügend starken Strom elektrische Leiter zum Glühen gebracht werden können. Im Jahre 1801 zeigte Thenard, daß man

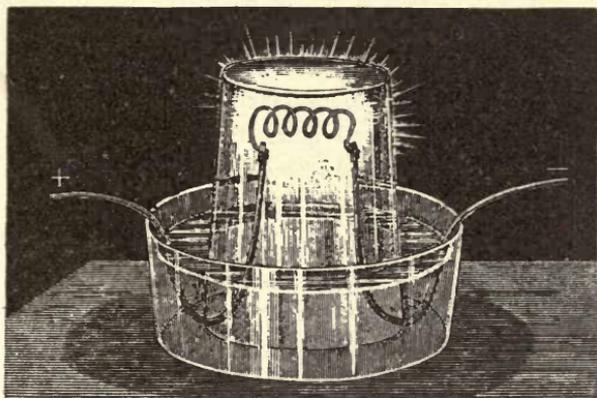


Fig. 1. Groves Platindrahtglühlampe.

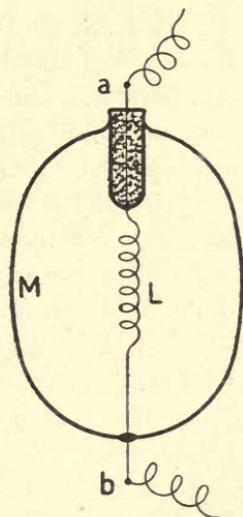


Fig. 2.

Metalldrähte durch den galvanischen Strom zur hellen Glut bringen, ja sogar diese schmelzen und verdampfen kann. Der Erfinder des elektrischen Elementes, Grove, veröffentlicht die erste elektrische Platindrahtglühlampe im Jahre 1840 („Phil. Mag.“, third series, Bd. 27, S. 442). Aus der Fig. 1 kann man leicht die einfache Konstruktion der Lampe ersehen. Fast zur gleichen Zeit, im Jahre 1841, meldet Frederic de Moleyn eine Platindrahtglühlampe zum Patent an. Die Lampe, Fig. 2, erscheint schon hier in einer recht kompendiösen Form. Eine Platindrahtspirale *L* wird durch den elektrischen Strom in einer Glasglocke *M* zum Glühen gebracht. Im oberen Teil der Lampe befindet sich ein mit Kohle oder Graphitpulver gefülltes Rohr, welches unten eine feine Oeffnung besitzt, die ein langsames Ausströmen des Pulvers längs des glühenden Drahtes gestattet. Da-

durch soll auch das Pulver in Glut geraten, verbrennen, und die Lichtstärke der Lampe vergrößern. Eine ganze Reihe von Erfindern beschäftigt sich noch mit der Platindrahtlampe. 1845 schlugen A. King und I. W. Starr, nach vergeblichen Versuchen mit einer Platiniridiumlampe, eine Kohlenfadenlampe vor. Im Jahre 1848 erfindet I. W. Staite eine Iridiumdrahtlampe (Staite, engl. Pat. 12212, 1848). Die Hauptarbeit, welche Staite hier zu bewältigen hatte, war nichts Geringeres, als das Iridium in mechanisch bearbeitbare, duktile Form zu bringen. Heute noch bereitet dieses Metall infolge seiner Brüchigkeit bei seiner Bearbeitung große Schwierigkeiten. Staite unterwirft nun dieses Metall einer längeren Bearbeitung in der Hitze, er walzt und hämmert es bei Weißglut so lange, bis das Metall durch die Behandlung hinreichend weich und duktil geworden ist für die nachfolgende mechanische Formgebung bei gewöhnlicher Temperatur. Historisch ist diese Erfindung schon deshalb sehr interessant, als gerade das wichtigste Wolframduktilisierungspatent der General Electric Company in Amerika, welches in der letzten Zeit eine Umwälzung in der Wolframlampenfabrikation hervorgerufen hat, im wesentlichen denselben Gedanken enthält.

Im Jahre 1858 führt de Changy Versuche mit einer Platindrahtlampe aus (V. Jobard, Comptes rendus de l'Académie des sciences, Februar 1858) und findet, daß der Draht viel besser die Glut verträgt, wenn derselbe beim Auspumpen der Lampe nur langsam auf die volle Glut gebracht wird. 20 Jahre später hat Edison bei seinen Versuchen dieselbe Beobachtung gemacht. Auch er fand, daß ein gewöhnlicher Platindraht in einer Lampe beim Glühen viel leichter zerstäubt, schmilzt und brüchig wird, als ein Draht, der im hohen Vakuum bei allmählicher Steigerung seiner Temperatur gänzlich entgast wurde. Diese Beobachtung teilt Edison im Jahre 1878 in einem Patente mit (amerik. Pat. 214636, 1878), und diesem folgen auch andere Patente (franz. Pat. 5306, 1878; franz. Pat. 2402, 1879; amerik. Pat. 227229, 1880), in welchen sich der Erfinder einen mit Oxyden von Kalzium, Magnesium, Zirkon und Cer überzogenen Platiniridiumdraht als Glühkörper für elektrische Glühlampen schützt, sowie eine Anordnung, bei welcher ein hochfeuerfestes Oxyd in Stäbchenform, von einem Platindraht spiralförmig umgeben, zur Glut gebracht wird. Schließlich weicht das Platin und Iridium vor dem Kohlenstoff, der sich als Leuchtkörper doch vorteilhafter erweist als diese Metalle. Zu dieser Ansicht kamen auch früher oder später fast alle früher genannten Erfinder. Erst aber als Edison selbst, nach Durchführung seiner eingehenden und sorgfältigen Versuche,

sich auch davon überzeugt hatte und die Ausarbeitung einer brauchbaren Kohlenfadenlampe in seine geschickte Hand nahm, löste die Kohlenfadenlampe die Metalldrahtlampe endgültig ab und feierte den Triumph fast zwei Jahrzehnte. In dieser Zeit erfuhr die Kohlenfadenlampe wesentliche Verbesserungen und erreichte einen Grad von Vervollkommnung, der erst durch gänzlich neue Erfindungen übertroffen werden konnte.

Der erste Streich, der gegen die alleinherrschende Kohlenfadenlampe ausgeführt wurde, kam mit der Erfindung der Nernstlampe. Professor Nernst stellte fest, daß verschiedene Oxyde in der Hitze eine beträchtliche Leitfähigkeit besitzen. Es gelang ihm auch, entsprechende Mischungen aus hochfeuerfesten Oxyden, wie Thorium-, Cer-, Zirkon-, Yttrium- und Erbiumoxyd herzustellen, welche diese Eigenschaft besaßen und eine Temperatur von 1800 bis 1900 °C vertrugen. Die Nernstlampe verbrauchte bei einer Nutzbrenndauer von etwa 400 Stunden 1,8 bis 2,0 Watt pro Hefnerkerze. Trotz der recht großen Empfindlichkeit der Lampe und des verhältnismäßig hohen Preises erstand in dieser der Kohlenfadenlampe eine gefährliche Konkurrentin. Vor allem aber durchbrach dieser Erfolg die durch Jahrzehnte hindurch bereits eingebürgerte Ansicht, daß die Kohle als Material für Glühlampen unübertrefflich sei. Das Problem der Schaffung einer Glühlampe mit geringem Energieverbrauch wurde damit von neuem aktuell, und nun folgen, von Auer eingeleitet, in schneller Reihenfolge Erfindungen auf Erfindungen, die die Glühlampenindustrie in wenigen Jahren vollständig revolutionisiert haben.

1898 erhält Auer von Welsbach ein Patent für eine Osmiumlampe, in welchem er eine ganze Reihe von Methoden angibt, nach denen man spröde und hochschmelzende Metalle zu dünnen Fäden gestalten kann. Es beginnt die Suche nach hochschmelzenden Metallen. 1903 stellt Werner von Bolton das duktile Tantal her, welches die Firma Siemens & Halske für die Fabrikation der Tantallampe in Verwendung nimmt. Just und Hanaman melden am 15. April 1903 in Deutschland ein Verfahren zur Herstellung von Wolframfäden für Glühlampenzwecke an. Von nun an übernimmt das Wolfram als Leuchtkörpermaterial die Führung, und es scheint, daß es diese für lange Zeit behalten wird, da es scheinbar das schwerstschmelzbare Metall ist. Eine sehr große Zahl von Erfindungen, welche die Darstellung von Wolframfäden für Glühlampenzwecke betreffen, wird zum Patent angemeldet. Das Osmiumverfahren von Auer wird von der Deutschen Gasglühlicht-Akt.-Ges.

auf das Wolfram übertragen. Dr. Hans Kuzel erfindet die Wolframkolloidlampe. Die Firma Siemens & Halske sieht in ihren Patenten alle Möglichkeiten voraus, nach denen sich Wolfram auf dem einfachen Wege des Walzens und Ziehens auf Draht verarbeiten lassen könnte. Eine Zeitlang erlangt das Nickelwolframziehverfahren dieser Firma größere Bedeutung. Es zeigte sich nämlich, daß Wolfram mit etwa 8 % Nickel eine zähe, duktile Legierung bildet, aus welcher durch Ziehen die feinsten Drähte hergestellt werden konnten. Durch einfaches Glühen des Drahtes im Vakuum ließ sich das Nickel aus der Legierung gänzlich verjagen, und es blieb ein reiner Wolframdraht zurück. Dieser Erfolg der Firma Siemens & Halske machte das Problem der Wolframduktilisierung aktuell, es wurde der seit langem vorgeschlagene Weg, das Wolframmetall in der Wärme zu walzen und ziehen, von der General Electric Company betreten. Bei diesen Versuchen fand man, daß das sonst spröde Wolfram durch die Warmbehandlung schließlich auch bei gewöhnlicher Temperatur biegsam und duktil wird. Die Entdeckung dieser Tatsache brachte es mit sich, daß die Wolframlampenfabrikation gänzlich umgestaltet wurde. Der der Wolframlampe noch einzig gemachte Vorwurf der Zerbrechlichkeit ist auch damit hinfällig geworden, da der Wolframdraht gegen Stöße noch um vieles widerstandsfähiger ist als der Kohlenfaden. Durch die große Vereinfachung der Fabrikation trat auch eine wesentliche Verbilligung der Lampen ein, alles in allem, man gewinnt jetzt den Eindruck, trotz der vielen Ueberraschungen, die man auf dem Gebiete der Glühlampen in letzter Zeit erlebt hat, daß diese Metalldrahtlampe für längere Zeit wohl ihre gegenwärtige Form behalten wird.

### **Die physikalischen Gesetze der Temperaturstrahlung.**

Die Wolframlampe gestattet uns, die Umwandlung elektrischer Energie in Licht mit viel größerem Nutzeffekt durchzuführen, als es bisher mit den Kohlenfadenlampen möglich war. Während die Wolframlampe 0,8 bis 1,1 Watt elektrischer Energie für eine ausgestrahlte Hefnerkerze verbraucht, braucht die beste Kohlenfadenlampe für 1 HK. 2,5 Watt. Dies läßt sich leicht erklären mit Hilfe der physikalischen Gesetze der Temperaturstrahlung, deren Kenntnis unbedingt erforderlich ist, will man das Wesen der Metalldrahtlampen und die Ursachen ihrer Vorzüge klar begreifen. Die Kenntnis der Gesetze ist aber vor allem deshalb wichtig, weil sie erlaubt vorausszusehen, welche Wege zur weiteren Vervollkommnung der elektrischen Glühlampen beschritten werden müssen. (Das

vortreffliche Buch: Die Ziele der Leuchttechnik, von Prof. Dr. Otto Lummer, soll bei dieser Gelegenheit wärmstens empfohlen werden.)

Die Glühlampe ist eine Vorrichtung, mit welcher wir elektrische Energie in Licht umwandeln. Der durch elektrischen Strom auf hohe Glut erhitzte Glühkörper sendet Licht und unsichtbare Wärmestrahlen aus, in einem Verhältnis, welches durch die Gesetze der Temperaturstrahlung genau definiert ist. Das Verhältnis der sichtbaren Lichtstrahlen zu den unsichtbaren Wärmestrahlen ist besonders wichtig und für den Nutzeffekt, mit welchem die Glühkörper die elektrische Energie in Licht umwandeln, ausschlaggebend, da die Aussendung von Wärmestrahlen einen Energieverlust bedeutet. Nun geben uns die Gesetze der Temperaturstrahlung die Faktoren an, von welchen das Verhältnis der sichtbaren Strahlung zur unsichtbaren abhängt. Das Stefan-Boltzmannsche Gesetz besagt, daß die von einem „schwarzen“ Körper ausgestrahlte gesamte Energie — die Gesamtstrahlung — proportional ist der vierten Potenz der absoluten Temperatur. Steigt also z. B. die absolute Temperatur eines Körpers im Verhältnis von 1 : 2, so wächst die Gesamtstrahlung dieses Körpers auf den 2<sup>4</sup>ten, also den 16fachen Betrag. Das Wort Gesamtstrahlung bedeutet sowohl die sichtbare wie unsichtbare Strahlung, die ein glühender Körper aussendet; würde das Verhältnis der sichtbaren zu unsichtbaren Strahlen bei allen Temperaturen das gleiche bleiben, so würde eine Temperaturerhöhung in unserem Falle für den Nutzeffekt ohne jede Bedeutung sein. Aus der Erfahrung wissen wir aber, daß, je höher ein Glühkörper erhitzt wird, um so größer wird auch der Nutzeffekt der Umwandlung von Elektrizität in Licht. Diese Tatsache ist leicht zu erklären. Wir wissen, daß bei tiefer Glut die festen Körper hauptsächlich rote Strahlen, bei höherer gelbes, bei der höchsten Temperatur weißes Licht aussenden. Es besteht also bei glühenden festen Körpern die Tendenz, mit steigender Temperatur immer kurzwelligere Strahlen auszusenden. Die Aussendung der einzelnen Strahlenarten nimmt nicht mit steigender Temperatur im gleichen Maße zu, sondern die Intensität der kürzeren Wellen nimmt schneller zu als die Intensität der längeren Wellen. Das Energiemaximum der Strahlung bewegt sich mit steigender Temperatur von den längeren zu den kürzeren Wellen. Je höher die Temperatur  $T$  des glühenden Körpers ist, um so kleiner ist die Wellenlänge  $\lambda m$ , bei welcher sich das Energiemaximum der Strahlung befindet. In einer Formel ausgedrückt, lautet das Gesetz  $\lambda m = \frac{1}{T}$  const., oder  $\lambda m T = \text{const.}$ ; die Wellenlänge der maxi-

malen Energie ist umgekehrt proportional der absoluten Temperatur. Durch Messungen wurde die Größe der Konstante zu 2940 ermittelt. Finden wir z. B., daß ein glühender Körper im Gebiete der Wellenlänge  $1,78 \mu$  ( $\mu = 0,001 \text{ mm}$ ) das Maximum an Energie aussendet, so ergibt sich aus der Formel die absolute Temperatur dieses Körpers zu  $\frac{2940}{1,78} = 1651,6^{\circ}$ . Gleichzeitig sehen wir aus diesem

Beispiel, daß bei der Temperatur von  $1651,6^{\circ}$  abs., also  $1378^{\circ} \text{ C}$ , das Maximum der ausgestrahlten Energie noch immer im Gebiete der unsichtbaren Wärmestrahlen liegt ( $1,78 \mu$ ), da die sichtbaren Strahlen sich nur von  $0,8$  bis  $0,4 \mu$  erstrecken. Mit Hilfe der Formel können wir auch berechnen, auf welche Temperatur ein Körper erhitzt werden müßte, damit er in derjenigen Wellensorte das Maximum an Energie ausstrahlt, für welche unser Auge am empfindlichsten ist (Wellenlänge  $0,5 \mu$ ). Wir finden dann  $T = \frac{2940}{0,5} = 5880^{\circ}$  abs.,

oder  $5647^{\circ} \text{ C}$ . Da die Messungen im Sonnenspektrum für die Lage des Energiemaximums  $\lambda_m = 0,5 \mu$  ergeben haben, so dürfte die berechnete Temperatur auch ungefähr die Temperatur der Sonne sein. Ein Gesetz der Temperaturstrahlung belehrt uns auch über den absoluten Anstieg des Energiemaximums  $E_m$  mit der Temperatur. Es lautet: Die maximale Energie ist proportional der fünften Potenz der absoluten Temperatur.  $E_m T^{-5} = \text{const.}$

Diese Gesetze gelten genau nur für den absolut „schwarzen“ Körper. Der Begriff des absolut „schwarzen“ Körpers ist von Kirchhoff formuliert. Es ist nach seiner Definition derjenige Körper, „welcher alle Strahlen, die auf ihn fallen, vollkommen absorbiert, also Strahlen weder reflektiert noch hindurchläßt“. Das Kirchhoffsche Gesetz von der Absorption und Emission des Lichtes besagt nun, daß ein Körper bei jeder Temperatur vorzugsweise diejenigen Wellensorten aussendet (emittiert), welche er bei der gleichen Temperatur verschluckt (absorbiert). Der absolut „schwarze“ Körper besitzt demnach das Maximum an Emissionsvermögen für alle Strahlenarten, da er für alle Strahlenarten das Maximum an Absorptionsvermögen besitzt. Bei jeder Temperatur wird somit ein absolut schwarzer Körper immer heller leuchten als jeder andere bei der gleichen Temperatur. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man einen mit Eisengallustinte beschriebenen Porzellanscherben erhitzt. Durch das Glühen wird die Tinte zersetzt, es verbleiben jedoch die Schriftzüge, welche aus Eisenoxyd bestehen. Das Eisenoxyd ist nun ein viel schwärzerer Strahler als das Porzellan, und

es leuchten auch beim Erhitzen des Scherbens die Schriftzüge viel heller als der Hintergrund. Trotz dieser Tatsachen wäre es nicht vorteilhaft, einen möglichst schwarzen Körper als Glühkörper zu verwenden, da der absolut schwarze Körper auch im Gebiete der unsichtbaren Wärmestrahlen viel mehr Energie ausstrahlt als alle anderen Körper. Das Verhältnis der langwelligen (unsichtbaren) Strahlen zu den kurzwelligen (Lichtstrahlen) bildet beim absolut „schwarzen“ Körper ein Maximum, weshalb ein solcher Strahler für die Lichterzeugung möglichst unökonomisch ist, da gerade dieser Körper besonders viel Energie in Form von nutzlosen Wärmestrahlen ausstrahlt.

Zur Lichterzeugung sind diejenigen „selektiven“ Strahler am geeignetsten, welche im Verhältnis zur ausgestrahlten Lichtenergie ein Minimum an Energie im Gebiete der Wärmestrahlen aussenden. Während nun der Kohlenstoff einem ideal schwarzen Strahler am ähnlichsten ist, sind die Metalle viel mehr selektive Strahler, also schon aus dem Grunde für die Lichterzeugung viel günstiger. Als ein ideal selektiver Körper für die Lichterzeugung wäre derjenige zu bezeichnen, der ausschließlich Lichtstrahlen aussendet. Leider stehen die Metalle als Strahler dem schwarzen Körper viel näher als dem ideal selektiven Strahler. Der weitaus größte Teil der ausgestrahlten Energie geht auch bei den Metallen in Form von Wärmestrahlen verloren. Aus den angeführten Diagrammen Fig. 3 u. 4 kann man am besten die soeben besprochenen Verhältnisse studieren. Die Fig. 3 gibt das Strahlungsvermögen eines absolut schwarzen Körpers wieder. Die aus erhitzten Hohlräumen ausgehende Strahlung ist der Strahlung eines absolut „schwarzen“ Körpers sehr ähnlich, weshalb es uns leicht fällt, trotzdem es in der Natur überhaupt keinen idealen, absolut „schwarzen“ Körper gibt, die Strahlungsverhältnisse eines absolut „schwarzen“ Körpers zu studieren. Fig. 4 gibt das Strahlungsvermögen des blanken Platins wieder. In beiden Fällen wurden die aus den jeweils verschieden hoch erhitzten Körpern ausgesendeten Strahlen vermittelt eines Prismas oder Gitters in ein Spektrum zerlegt und die einzelnen Spektralbezirke mit einem empfindlichen Bolometer auf die mitgeführte Energie untersucht. In einem rechtwinkligen Koordinatensystem sind die gefundenen Energiewerte als Ordinaten aufgetragen, während die dazugehörigen Abszissen die Wellenlängen der jeweils gemessenen Strahlen bedeutet. Jede Kurve gibt nun die Strahlungsverhältnisse des bei einer bestimmten Temperatur untersuchten Strahlers wieder. Die Fläche, welche zwischen einer solchen Kurve und der Abszissenachse eingeschlossen ist, stellt

die Gesamtstrahlung dar. Wir sehen aus den Figuren, wie die Gesamtstrahlung mit der Temperatur wächst. Während aber bei dem absolut „schwarzen“ Körper, genau nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz, die

Gesamtstrahlung der vierten Potenz der absoluten Temperatur proportional ist, ist beim blanken Platin die Gesamtstrahlung der fünften Potenz der absoluten Temperatur proportional. Das Wandern des Energiemaximums von den längeren Wellen zu den kürzeren mit steigender Temperatur läßt sich sehr gut beobachten. Wir sehen aus den Fig. 3 u. 4, daß das Energiemaximum, sogar bei recht hohen Temperaturen, sich noch immer im Gebiete der unsichtbaren Strahlen befindet. Die punktierten Linien trennen das enge Gebiet der Lichtstrahlen von den unsichtbaren ultraviolett und ultraroten Strahlen. Der weitaus größte Betrag der Gesamtstrahlung liegt im Gebiete der unsichtbaren

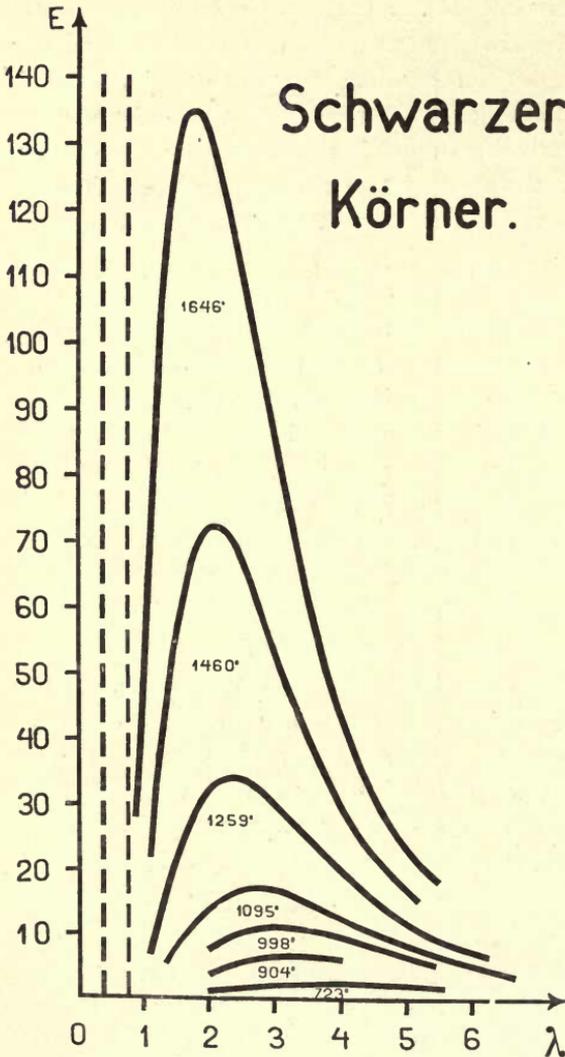


Fig. 3.

Wärmestrahlen. Denken wir uns die Kurven nach links gegen den Nullpunkt des Koordinatensystems zu fortgesetzt, so bedeuten die kleinen Flächen, welche von den Kurvenstücken zwischen 0,8 bis 0,4 und der Abszissenachse jeweils abgegrenzt werden, den Energieanteil der sichtbaren Strahlung. Bolometrisch läßt sich diese Energie kaum feststellen. Durch Helligkeitsmessungen läßt sich der Anstieg der

als Licht empfundenen Energie mit der Temperatur bestimmen. Man findet, daß die Helligkeit mit der Temperatur außerordentlich rasch zunimmt. Nach den Untersuchungen von O. Lummer und F. Kurlbaum („Verhandl. d. Deutsch. Phys. Ges.“, Bd. 2, S. 89 bis 92) nimmt die Gesamthelligkeit bei  $900^{\circ}$  abs. mit der 30. Potenz und bei  $1900^{\circ}$  abs. immer noch mit der 14. Potenz der absoluten Temperatur zu. Durch Berechnungen konnte ermittelt werden, daß ein Körper bei  $4000^{\circ}$  abs. rund 4000 mal mehr Licht pro Flächeneinheit aussenden würde als bei  $2000^{\circ}$  abs. Nach Lummer übertrifft die Sonne, welche ungefähr die Temperatur von  $6000^{\circ}$  abs. besitzt, den Glühkörper einer Kohlenfadenlampe an Helligkeit pro Flächeneinheit um das 600 000 fache!

Die Strahlungsgesetze schreiben also vor, daß 1. der Leuchtkörper möglichst hoch erhitzt wird, 2. sich möglichst von dem schwarzen Körper unterscheidet. Die Folge der ersten Bedingung ist, daß in den Glühlampen die Leuchtkörper so hoch als möglich belastet werden. Da der Leuchtkörper aus praktischen

Gründen auch möglichst hohe Lebensdauer besitzen soll, so darf er bei der Belastung, welcher er ausgesetzt wird, nicht wesentlich verdampfen und zerstäuben. Die Zerstäubung des Leuchtkörpers bedingt nicht nur die Verkürzung der Lebensdauer der Lampe, sondern auch eine Verringerung des Nutzeffektes infolge der Bildung des Beschlages an den Wänden der Lampenglocke. Es wird somit derjenige Leuchtkörper für Glühlampenzwecke der geeignetste sein, welcher die höchste Belastung aushält, ohne dabei wesentlich zu verdampfen.

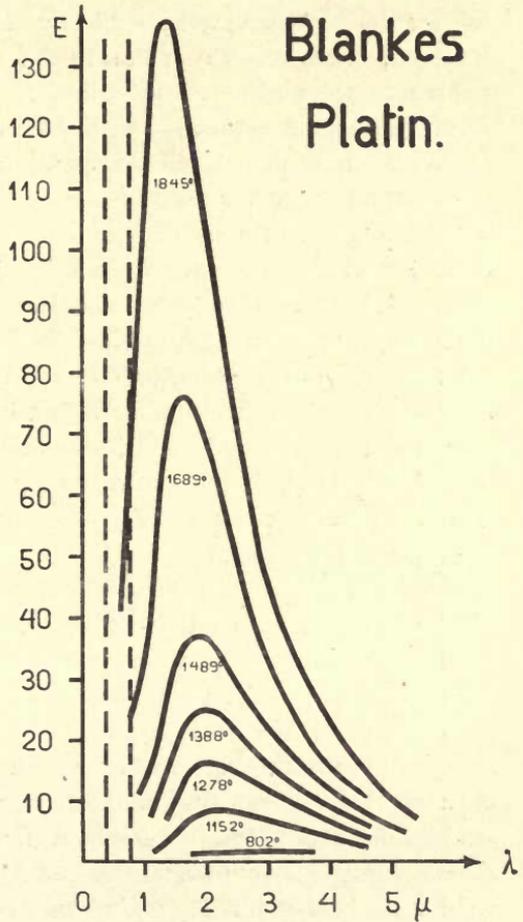


Fig. 4.

Die modernen Glühlampen verdanken ihre größere Ökonomie gegenüber den Kohlenfadenlampen vor allem diesem Umstande, daß die Metalle, wie Tantal, Osmium und Wolfram, welche in den modernen Glühlampen verwendet werden, bei gleicher Nutzbrenndauer viel höher erhitzt werden dürfen als die Kohlenfäden. In den modernsten Wolframlühlampen, welche mit einem Nutzeffekt von 0,8 Watt/HK. brennen, wird der Wolframdraht auf eine Glut von rund  $2400^{\circ}\text{C}$  gebracht, wobei die Nutzbrenndauer über 1000 Stunden beträgt. Demgegenüber vertragen die Kohlenfäden in den besten Kohlenfadenlampen höchstens die Temperatur von  $2000^{\circ}\text{C}$  bei einer Nutzbrenndauer von etwa 500 Stunden. Auch die zweite Forderung der Strahlungsgesetze, daß der Leuchtkörper sich möglichst viel von dem „schwarzen“ Körper als Strahler unterscheidet, wird von den Metallen in wesentlich höherem Maße erfüllt als von der Kohle, deren Strahlungsvermögen dem des absolut „schwarzen“ Strahlers am nächsten steht. Die Aufgabe des Lichttechnikers ist, nach Materialien zu suchen, welche möglichst hohe Temperaturen vertragen, ohne dabei zu zerstäuben oder zu schmelzen. Wohl hat der Kohlenstoff von allen bisher bekannten Materialien den höchsten Schmelzpunkt. Infolge seiner großen Neigung zur Zerstäubung ist jedoch seiner Beanspruchung in der Lampe eine weit unter dem Schmelzpunkt liegende Temperatur als Grenze vorgesteckt. Es ist bisher nicht gelungen, Kohlenfäden einer Temperatur von über  $2000^{\circ}\text{C}$ , bei befriedigender Nutzbrenndauer, auszusetzen, während die Metalle wie Osmium, Tantal und Wolfram, welche wesentlich tiefer schmelzen als die Kohle, die Belastung von über  $2000^{\circ}\text{C}$  ohne wesentliche Zerstäubung leicht vertragen. Es ist nicht unmöglich, daß einst noch die Kohle dem Wolfram seinen ersten Platz als Leuchtkörper streitig machen wird. Es müßten nur die Ursachen der starken Zerstäubung der Kohle ermittelt und Anordnungen getroffen werden, welche die Zerstäubung verhindern oder deren Wirkung aufheben. Viele Beobachtungen deuten darauf hin, daß die Lösung der Problems nicht ausgeschlossen ist. Die Einführung der sogen. metallisierten Kohlenfäden bedeutet in dieser Richtung einen wesentlichen Schritt nach vorwärts. Natürlich fehlt es auch bei den Metalldrahtlampen, speziell der Wolframlampe, nicht an Bestrebungen, die Zerstäubung der Leuchtkörper zu verlangsamen oder die Schwärzung der Glasglocke zu verhindern. Auch durch die Auffindung von Leuchtkörpern mit günstigstem selektiven Strahlungsvermögen dürften sich noch wesentliche Fortschritte in der Leuchttechnik erzielen lassen. Wohl bedeutet das selektive Strahlungsvermögen der Metalle gegenüber der Kohle

einen erheblichen Fortschritt. Das Strahlungsvermögen der Metalle ist aber auch nicht sehr verschieden von dem des absolut schwarzen Körpers. Es fehlte nicht an Versuchen, das Strahlungsvermögen der metallischen Leuchtkörper durch Auftragung selektiv strahlender Oxyde günstiger zu gestalten. Die Versuche scheinen vor allem an der Flüchtigkeit der verwendeten Oxyde gescheitert zu sein. Mehr Erfolg auf dem Gebiete der selektiven Strahlung scheinen die Gaslampen, die sogen. Lumineszenzlampen zu versprechen. Die Erfolge, welche man bisher mit dem Moorelicht, Neon-, Quecksilber- und neuerdings mit der Quecksilberkadmiumlampe erzielt hat, sind sehr bedeutend und vielversprechend. Das von diesen Lampen entwickelte Licht ist aber sehr stark vom Sonnenlicht verschieden und in vielen Fällen für das menschliche Auge auf die Dauer unerträglich. Die Quecksilberkadmiumlampe scheint hier einen großen Fortschritt zu bedeuten, doch dürfte sie nur für sehr große Lichtstärken, etwa als Ersatz für Bogenlampen, in Betracht kommen. Bei den mannigfachen Vorzügen der modernen Wolframlampe ist es deshalb kaum zu erwarten, daß ihr so bald von seiten der Lumineszenzlampe eine ernste Konkurrentin erstehen könnte.

## Die Metalldrahtlampen und ihre Fabrikationsmethoden.

Die ersten Vorgänger der Metalldrahtlampen waren die im geschichtlichen Teil des Buches erwähnten Platin- und Iridiumlampen. Die Tatsache, daß diese Metalldrahtlampen vor der Kohlenfadenlampe vorgeschlagen wurden, beweist, daß die Verwendung schwer schmelzbarer Metalle für Leuchtkörper naheliegender war als die Verwendung von Glühkörpern aus Kohle. Lediglich der Umstand, daß seinerzeit nur Platin und Iridium, denen man damals den höchsten Schmelzpunkt zugeschrieben hat, für Glühlampenzwecke in Betracht gezogen wurden, hat der Kohlenfadenlampe zu ihrem Siege verholfen. Fast 20 Jahre hindurch behielt die Kohlenfadenlampe unbestritten den ersten Platz.

Edison hat bei der Einführung der Kohlenfadenlampe mit großer Sicherheit behauptet, daß die Kohle das geeignetste Material für Glühlampenzwecke sei, und versicherte (1883), daß er alle in Betracht kommenden, schwer schmelzbaren Materialien durchgeprüft hat, bevor er zu diesem Resultat gekommen sei. Obendrein haben die Untersuchungen von Moissan über die hochschmelzenden Metalle für alle Metalle einen viel zu tiefen Schmelzpunkt ergeben,

da die meisten in nicht genügend reinem Zustand von dem Forscher untersucht wurden. Diese Tatsachen waren wenig geeignet, Erfindern die Hoffnung zu geben, ein für Glühlampenzwecke besser geeignetes Material als die Kohle zu finden. Erst die Erfindung der Nernstlampe spornte die Erfinder zur ernstesten Suche nach schwer schmelzbaren Metallen an. Aus Tradition lenkte Auer von Welsbach seine Aufmerksamkeit zuerst der Platingruppe zu. Das Osmium, welches die unangenehme Eigenschaft der leichten Oxydierbarkeit besitzt, war aus diesem Grunde damals noch wenig untersucht. Dieses Metall nahm nun Auer vor und entdeckte dessen vorzügliche Eigenschaften für Glühlampenzwecke. Nach dieser Erfindung erstand eine wahre Sturmflut von Patenten, so daß heute fast gar kein Metall mehr oder eine Legierung von halbwegs hohem Schmelzpunkt bekannt ist, welche nicht für Glühkörperzwecke vorgeschlagen worden wäre. Von all den Vorschlägen haben nur zwei Metalle, das Tantal und Wolfram, Bedeutung erlangt. Die Fabrikation der Osmiumlampen erreichte im Jahre 1905, bald nach dem Erscheinen der Wolframlampe, ihr Ende, während die Tantallampe, trotz des geringeren Nutzeffektes beim Brennen, neben der Wolframlampe so lange gut bestehen konnte, bis die Duktilisierung des Wolframs erfolgte. Der Verfasser hatte ursprünglich die Absicht, nur über die Fabrikation der Wolframlampen zu schreiben. Es erschien aber ratsamer, der Beschreibung der Wolframlampenfabrikation, zum besseren Verständnis ihrer Entwicklung, eine kurze Beschreibung der Fabrikation der Tantallampen und Osmiumlampen anzugliedern.

### Die Tantallampe.

Das Tantalmetall, aus welchem die Leuchtkörper der Tantallampen bestehen, wird aus Mineralien, wie Columbit, Tantalit, Yttrotantalit, Branzilit, Niobit u. v. a., gewonnen, welche, zwar sehr allgemein verbreitet, nur in geringen Mengen vorkommen. Die wichtigsten Lagerstätten befinden sich in Amerika und Australien. In Europa befinden sich die größten Lagerstätten in Skandinavien, in geringeren Mengen findet man die Tantalerze aber auch im Ural, in Bayern und Italien. Die australischen Tantalerze, Tantalite, besitzen den Höchstgehalt an Tantsäure von 50 bis 70 %. Es sind dunkelgraue Gesteine von hohem spezifischen Gewicht. Die amerikanischen Tantalerze, Columbite genannt, besitzen einen Tantsäuregehalt von 10 bis 70 % und sind wesentlich dunkler gefärbt als die australischen Tantalerze. Als ständiger Begleiter des Tantals in den Mineralien tritt das Niob auf. Die in der Natur vorkommenden

Verbindungen dieser Elemente sind Salze ihrer Säuren vom Typus  $M_{II}(TaO_3)_2$ ,  $M_{II}(NbO_3)_2$ , wobei als  $M_{II}$  hauptsächlich Eisen, Mangan, Kalzium, sehr oft aber Yttrium, Thorium, Lanthan, Cer und Uran die Rolle der Basis spielen. Auf recht umständlichem Wege wird nun aus diesen Mineralien das reine  $Ta_2O_5$  dargestellt, welches als Ausgangsmaterial für die Herstellung des Metalles benutzt wird. Das Metall läßt sich in reinem Zustande herstellen nach den Methoden von Werner von Bolton, dessen Verfahren von Siemens & Halske patentiert wurde [Werner von Bolton, „Z. f. Elektroch.“, Bd. 11, S. 45 bis 51 und 722 (1905), und Siemens & Halske, A.-G., D. R. P. 152848 (1903), 152870 (1903), 153826 (1903)]. Werner von Bolton gibt zwei Verfahren an, nach welchen man zu reinem Tantal gelangen kann:

1. Das reine Tantalpentoxyd wird mit Zusatz von wenig Paraffin zu Stäbchen geformt, welche durch Glühen in Kohlepulver in Tantal-tetroxyd umgewandelt werden. Die auf diese Weise erhaltenen Stäbchen aus Tantal-tetroxyd leiten gut den elektrischen Strom. Sie werden nun mit starkem Wechselstrom im Vakuum auf hohe Glut gebracht, in welcher das Tantal-tetroxyd in Metall und Sauerstoff zerfällt. Der Sauerstoff wird durch Evakuieren dauernd abgeführt, so daß schließlich nach genügend langer Erhitzung ein Stäbchen aus ganz reinem duktilen Tantal resultiert. Bei dem Vorgange des Erhitzens bemerkt man an der Oberfläche des Stäbchens viele äußerst helle Punkte, welche immer größer werden, bis der ganze Körper gleichmäßig glüht. von Bolton nannte diesen Vorgang „schwingende Elektrolyse“, weil er glaubte, daß die glühenden Punkte im Wechselstrom bald zur Kathode, bald zur Anode werden und daß durch solchen „schwingenden“ Elektrolysevorgang der Zerfall in Metall und Sauerstoff bewirkt wird. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß der Zerfall ein rein thermischer Vorgang ist. Dieses kann man aus folgenden Tatsachen schließen: In einer Atmosphäre von Sauerstoff verbrennt ein weißglühender Tantaldraht nicht, wenn der Druck 20 mm *Hg* beträgt. Die Zersetzungsspannung von Tantaloxiden ist demnach so hoch, daß jedes aus Tantaloxiden bestehende Gebilde bei Weißglut im Sauerstoff unterhalb 20 mm *Hg* in reines Metall und Sauerstoff zerfallen muß. Die Tatsache, daß Tantal-tetroxydstäbchen, mit Gleichstrom erhitzt, sich nicht reduzieren ließen, scheint andererseits für die Ansicht von von Bolton zu sprechen, daß der Reduktionsprozeß doch, zum Teil wenigstens, ein Vorgang elektrolytischer Natur sein könnte. Die Überprüfung der Angaben erscheint jedenfalls sehr wünschenswert.

2. Für die Darstellung größerer Mengen reinen Tantalmetalls schlägt von Bolton das Schmelzen von Tantalpulver im elektrischen Vakuumlichtbogen vor. Das Tantalpulver wird nach Berzelius aus Tantalkaliumfluorid und Natriummetall hergestellt. Die Reduktion des Tantalkaliumfluorids mit Natrium geht glatt vor sich, und das auf diesem Wege erhaltene Metall stellt ein grauschwarzes Pulver vor. Dieses Pulver wird zu einem Stäbchen gepreßt, durch Erhitzung im Vakuum zuerst vorgesintert und schließlich als Anode im Vakuum der Wirkung des elektrischen Lichtbogens ausgesetzt. Durch die hohe Glut des Lichtbogens schmilzt die Tantal-anode zu einem Metallklumpen zusammen und gerät ins Sieden. Bei diesem Vorgang, welcher sich bei etwa  $3000^{\circ}\text{C}$  abspielt, werden alle absorbierten Gase (hauptsächlich Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff) und sonstigen Verunreinigungen aus dem Metall entfernt und es bleibt ein sehr reines Metall zurück. Ist der Raffinierprozeß vollständig durchgeführt, so läßt sich das Metall in der Kälte leicht bearbeiten und zu Drähten von dünnstem Durchmesser ausziehen. Verhältnismäßig dicke Stäbe lassen sich in einem Zuge, ohne Ausglühen, zu feinstem Draht ausziehen. Es gibt kaum ein anderes Metall, welches eine ähnlich große Zähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Überanstrengung zeigen könnte.

### Die physikalischen Eigenschaften des Tantals.

Der Schmelzpunkt des Tantals liegt nach den Messungen von von Pirani und Meyer bei  $2850^{\circ}\text{C} \pm 40$ . Der hohe Schmelzpunkt des Metalls erklärt die Brauchbarkeit dieses Materiales für Glühlampenzwecke. Das spezifische Gewicht des zu Barren geschmolzenen Metalls beträgt 16,64, des Drahtes von 0,05 mm Durchmesser 16,5. Die spezifische Wärme = 0,0365, der elektrische Widerstand von 1 m Tantaldraht bei einem Querschnitt von 1 qmm 0,165 Ohm. Die Zerreißfestigkeit bei 1 mm starkem Draht beträgt 93 kg, bei 0,05 mm Draht 150 bis 160 kg pro Quadratmillimeter. Der Wärmeausdehnungskoeffizient zwischen 0 bis  $50^{\circ}\text{C} = 7,9 \cdot 10^{-6}$ . Das Tantalmetall ist gegen chemische Reagenzien sehr widerstandsfähig. Es widersteht dem Angriff von heißer Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure und Königswasser, löst sich aber leicht in Flußsäure. An der Luft bleibt es unverändert und behält dauernd seinen silbergrauen, stahlähnlichen Glanz. Eine Erhitzung bis  $400^{\circ}\text{C}$  an freier Luft verändert das Metall nicht, etwas höher erhitzt, läuft das Tantal gelb an. Bei hoher Glut verbrennt es ruhig zu gelbem Tantalpentoxyd. Das Tantal hat große Verwandtschaft zum Stickstoff und

Wasserstoff und bildet mit diesen Gasen bei der Erhitzung Nitride bzw. Hydride. Ein kleiner Gehalt von diesen Gasen verursacht große Härte und Sprödigkeit des Metalls. Aus diesem Grunde ist man zur Anwendung des Vakuums gezwungen, will man ganz reines, duktiles Metall erhalten. Als Anode in einer Schwefelsäurelösung überzieht sich das Tantal mit ganz dünner Oxydhaut, welche nichtleitend ist, weshalb der Durchgang des Stromes verhindert wird. Werden nun ein Platinblech und ein Tantalblech als Elektroden in eine Schwefelsäurelösung gebracht, so übt beim Durchsenden eines

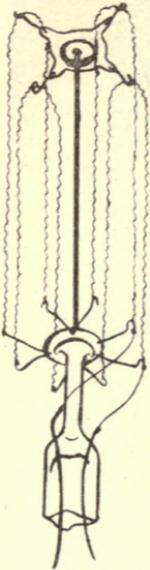


Fig. 5.

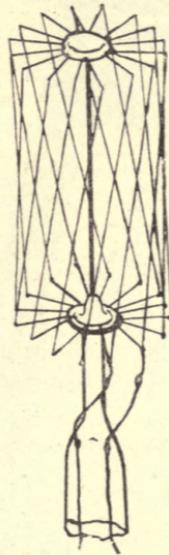
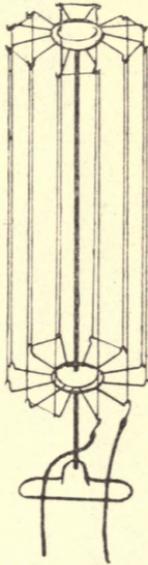


Fig. 6.

Wechselstromes durch ein solches Bad die Tantalelektrode eine Art Ventilwirkung aus und der Wechselstrom wird in pulsierenden Gleichstrom umgewandelt. Durch Anbringung der Grätzschen Schaltungsanordnung läßt sich deshalb damit ein gut wirkender Wechselstrom-Gleichstromumformer konstruieren.

### Der Bau und Eigenschaften der Tantallampen.

Die Firma Siemens & Halske, A.-G., war die erste, welche durch die Einführung der Tantallampen Metalldrahtlampen mit duktilem, unzerbrechlichem Leuchtkörper in den Handel brachte. Die ältesten Formen der Tantallampen besaßen Traggestelle für den Tantaldraht, wie Fig. 5 zeigt. Bald bekam aber das Traggestell die in Fig. 6 abgebildete Form. Das Prinzip, den duktilen Draht in Windungen auf das Gestell zu bringen, wurde der Firma durch

Patente geschützt. Diese Patente haben in letzter Zeit die größte Wichtigkeit erlangt, als die Wolframlampenfabriken, nach erfolgter Duktilisierung des Wolframs, die alte Form des Traggestells mit einzelnen Drahtbügeln aufgeben und ein dem Tantalgestell ähnliches Gestell verwenden wollten. Die Formen der gebräuchlichen

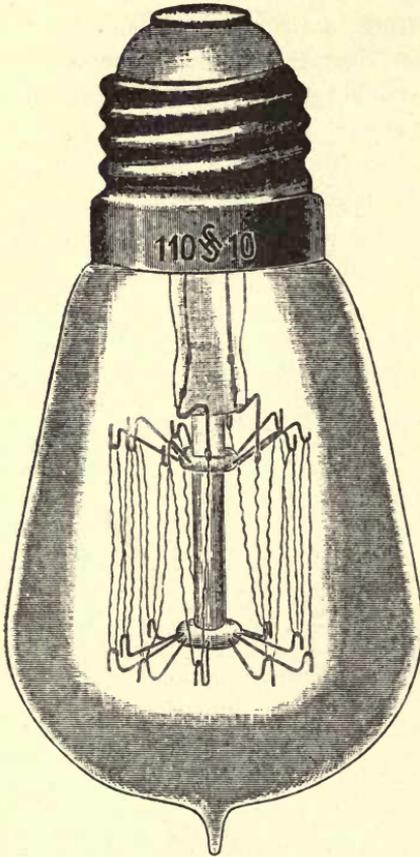


Fig. 7.

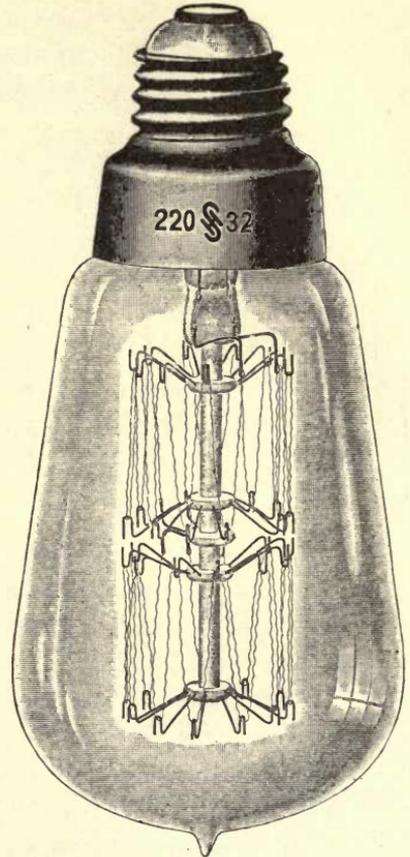


Fig. 8.

Tantallampen geben die Fig. 7 u. 8 wieder. Fig. 7 zeigt eine 110 Volt-Lampe, während Fig. 8 eine 220 Volt-Lampe darstellt. Die Tantallampen brennen mit einem Nutzeffekt von 1,6 Watt pro Hefnerkerze bei einer Nutzbrenndauer von etwa 600 Stunden. Die Lebensdauer der Lampe beträgt über 1000 Stunden. Der Widerstand des Drahtes beträgt bei der üblichen Belastung etwa das Sechsfache des Widerstandes bei gewöhnlicher Temperatur. Die wahre Temperatur des Leuchtkörpers beträgt nach den Messungen von von Pirani („Verhandl. d. Deutsch. phys. Gesellschaft“ 1912, S. 213)

bei der Belastung von 2 Watt/HK. 2021 ° C; 1,5 Watt/HK. 2125 ° C. Die Flächenhelle beträgt bei einer Belastung von 1,75 Watt/HK. 132 HK. pro Quadratcentimeter (Loring, „The Illum. Eng.“ London, Bd. 2, S. 398 [1909]). Die Änderung der Lichtstärke der Tantalampen mit der Spannungsänderung ist infolge des positiven Temperaturkoeffizienten des Tantals wesentlich geringer als bei der Kohlenfadenlampe. Im allgemeinen ändert sich bei der Tantalampe die Lichtstärke um 4 % bei jedem Prozent der Spannungsänderung. Aus nachfolgender Tabelle ist zu ersehen, in welcher Weise mit der Spannungsänderung sich die Lichtstärke und der spezifische Effektverbrauch bei verschiedenen Tantalampen verändert.

Änderung der Spannung	Änderung der Lichtstärke						Watt pro Hefnerkerze	
	Normalkerzen							
Spannungs- unterschreitung	- 20 %	3,9	6,3	9,9	12,6	19,7	39,4	2,60
	- 15 "	5,0	8,0	12,5	16,0	25,0	50,0	2,25
	- 10 "	6,5	10,3	16,1	20,6	32,2	64,5	1,95
	- 5 "	8,1	13,0	20,3	26,0	40,5	81,0	1,70
Normale Spannung		10	16	25	32	50	100	1,50
Spannungs- überschreitung	+ 5 %	12,2	19,5	30,5	39,0	60,9	121,9	1,35
	+ 10 "	14,7	23,6	36,8	47,2	73,6	147,2	1,20
	+ 15 "	17,5	28,1	43,8	56,2	87,7	175,5	1,10
	+ 20 "	20,7	33,2	51,8	66,4	103,8	207,5	1,00

Aus nachstehender Tabelle kann man das Verhalten der Tantalampe beim Brennen ersehen.

Brenndauer in Stunden	Lichtstärke in Kerzen	Spezifischer Effekt- verbrauch in Watt pro Hefnerkerze
0	26,3	1,68
7	28,3	1,57
85	26,6	1,67
370	24,7	1,79
637	23,5	1,89
1022	22,3	1,95
1199	22,2	1,97
1482	21,6	1,98

Die Lichtstärke nimmt zu Beginn des Brennens sehr stark zu, und in gleichem Maße nimmt der spezifische Effektverbrauch ab. Im Laufe von etwa 50 Stunden erreicht die Lichtstärke das Maximum und nimmt sodann allmählich wieder ab. Diese Erscheinung ist offenbar auf eine Strukturänderung des Tantaldrahtes zurückzuführen. Nach längerem Brennen wird der ursprünglich glatte Draht rau, seine Struktur grobkristallinisch und das spezifische Gewicht des

Metalls vergrößert sich. Der Leuchtkörper zieht sich dabei stark zusammen, er wird wesentlich kürzer und dicker. Dies hat eine beträchtliche Verringerung des Widerstandes zur Folge, durch welche wieder die Zunahme der Belastung und Lichtstärke verursacht wird. Die glatte Oberfläche des Tantaldrahtes wird wellig und glitzernd.



Fig. 9.



Fig. 10.

Fig. 9 zeigt ein Stück neuen Drahtes, sowie denselben nach 1000 Stunden Brennzeit. Auf Wechselstrom gebrannt, verhalten sich die Tantalampen ungünstiger als bei Gleichstrom, da die Strukturveränderung des Tantaldrahtes bei Wechselstrombetrieb noch viel intensiver ist. Der

Leuchtkörper wird in kurzer Zeit sehr grobkristallin, die einzelnen Kristalle werden senkrecht zur Drahtachse gegeneinander versetzt und es resultiert schließlich eine „schachtelhalmartige“ Struktur, wie

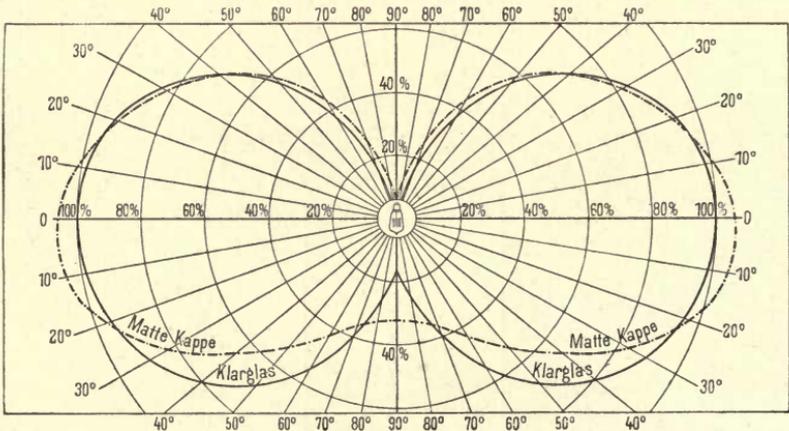


Fig. 11. Räumliche Lichtverteilung der Tantalampe.

solche Fig. 10 zeigt. Die räumliche Lichtverteilung einer Tantalampe zeigt schließlich Fig. 11. Solange die Tantalampe als Konkurrenz nur die Osmiumlampe hatte, konnte sich diese Metalldrahtlampe gut behaupten. Mit der Wolframlampe ist der Tantalampe jedoch eine gefährliche Konkurrentin erstanden, welche dieser in vieler Hinsicht überlegen war. Nur wegen der größeren Stoßfestigkeit konnte sich die Tantalampe gegenüber der Wolframlampe

behaupten. Als aber die Duktalisierung des Wolframs erfolgte, entfiel auch diese letzte Existenzberechtigung der Tantallampe, und es ist zu erwarten, daß die Lampe nicht mehr lange in Gebrauch bleiben wird.

### Die Osmiumlampe.

Die Osmiumlampe wird schon seit 1906 nicht mehr fabriziert. Trotzdem ist es aus vielen Gründen für das richtige Verständnis der Wolframlampenfabrikation fast unerläßlich, die Erfindung und Fabrikation der Osmiumlampe zu besprechen. War sie doch die erste Metalldrahtlampe, welche die Kohlenlampe ernstlich bedrohte. Zweifellos verdankt auch die Wolframlampe ihre Entstehung der Osmiumlampe, da die bei dieser Lampe von Auer von Welsbach aufgedeckten Prinzipien und Fabrikationsmethoden für die Fabrikation der Wolframlampe in Anwendung gebracht wurden. Es ist sicher, daß die Osmiumlampe nicht so bald der Wolframlampe den Platz geräumt hätte, wäre der Preis des Osmiums nicht so hoch. Vom rein technischen Standpunkt betrachtet, bedeutete die Erfindung der Osmiumlampe prinzipiell die Lösung des Problems der Metalldrahtlampen, da das Leuchtkörpermaterial dieser Lampe, das Osmium, in seiner Eignung für die Glühlampen dem Wolfram selbst kaum um vieles nachsteht.

Das Osmium ist ein der Gruppe der Platinmetalle angehörendes Metall und kommt als ständiger Begleiter des Platins in der Natur vor. Die wichtigsten Fundstätten befinden sich im Ural, Nord- und Südamerika, Australien und Japan. Die Gewinnung des Osmiums aus dem natürlich vorkommenden Gemisch der Platinmetalle gestaltet sich sehr einfach. Nach der Behandlung mit Königswasser bleibt das Osmium neben Iridium ungelöst zurück. Der Rückstand wird nun mit Zink legiert, das Zink mit gewöhnlichen Säuren gelöst und das Osmium und Iridium bleiben in Gestalt eines feinen schwarzen Pulvers zurück, welches die nachfolgende Trennung der Metalle leicht gestattet. Das Osmiummetall bildet in der Hitze mit Sauerstoff ein leichtflüchtiges Oxyd, das  $\text{OsO}_4$ , die Osmiumsäure. Diese Eigenschaft des Elements kann zu seiner Trennung von Iridium ausgenutzt werden. Das feine Osmium-Iridiumpulver wird im Sauerstoffstrom erhitzt, die Osmiumsäure verflüchtigt sich und wird durch Einleiten in alkalische Lösungen absorbiert. Durch beliebige Reduktionsmittel läßt sich daraus das Osmiummetall in Form eines feinen Pulvers gewinnen. Als geschmolzener Regulus ist das Osmium sehr hart und spröde, so daß in erster Linie kaum daran zu denken war,

auf rein mechanischem Wege, durch Bearbeitung des erschmolzenen Osmiummetalls, zu dünnen Drähten zu gelangen. Die Aufgabe, die Auer von Welsbach zu lösen hatte, war neben der Auffindung des passenden Materiales die Erfindung der Methoden, nach denen man dünne und gleichmäßige Drähte aus dem spröden und hochschmelzenden Körper erhalten könnte.

Die Verfahren, welche Auer in seinen Patenten (D. R. P. 138135 vom 19. Januar 1898; österr. Pat. 9693) für die Herstellung von Glühkörpern aus Osmiummetall angibt, sind: 1. das „Legierungsverfahren“, 2. das „Osmiumkohleverfahren“. Nach dem „Legierungsverfahren“ wird ein dünner Platindraht in reduzierender Gasatmosphäre, welche Überosmiumsäuredämpfe enthält, elektrisch erhitzt, wobei sich metallisches Osmium in feiner Form auf dem glühenden Platindraht niederschlägt. Auf diese Weise wurde das Osmiummetall in solcher Menge abgeschieden, bis das entstandene Osmium-Platingebilde weniger als 5 % Platin enthielt. Hierauf wurde die Temperatur des Fadens zur hellen Weißglut gesteigert und das Platin vollständig oder bis auf sehr geringe Spuren verflüchtigt. Würde dabei der Faden mehr als 5 % Platin enthalten, so könnte das Platin auf diese Weise nicht entfernt werden, da die fünfprozentige Osmium-Platinlegierung bereits unter dem Verdampfungspunkte des Platins schmilzt. Das Überziehen des Platins mit Osmium kann auch auf anderem Wege bewirkt werden, indem man den Platindraht mehrmals mit einem Brei, welcher fein verteiltes Osmium oder Osmiumsalze enthält, bestreicht, den Faden erhitzt und das Platin, wie oben beschrieben, vertreibt. Die auf diese Weise hergestellten Drähte besitzen eine röhrenförmige Struktur. Der größte Nachteil des Legierungsverfahrens war die Tatsache, daß man auf diesem Wege nicht zu genügend dünnen Osmiumdrähten gelangen konnte. Der fertige Osmium-Platindraht durfte nur höchstens 5 % Platin enthalten, somit mußte der Querschnitt eines nach dem Legierungsverfahren hergestellten Osmiumdrahtes 20mal so groß werden als der Querschnitt des als Seele verwendeten Platindrahtes. Da nun die Platindrähte unter 0,02 mm damals kaum herstellbar waren, so war der dünnste Osmiumdraht, den man nach dem Legierungsverfahren herstellen konnte, etwa 0,1 mm stark. Solche Drähte eignen sich nur für Lampen über 1 Amp. Es mußte deshalb ein anderer Weg beschritten werden, um zu genügend dünnen Drähten aus Osmium zu gelangen. Ein solches Verfahren war das „Osmiumkohleverfahren“. Das Verfahren beruht auf dem Prinzip, daß ein osmiumhaltiger Kohlefaden in einer wasserdampfhaltigen

reduzierenden Atmosphäre erhitzt wird. Bei geeigneter Glut, etwa  $1100^{\circ}\text{C}$ , oxydiert der Wasserdampf den gesamten Kohlenstoff, während das Osmium infolge seiner leichten Reduzierfähigkeit in reduziertem metallischen Zustande zurückbleibt. Auf sehr mannigfache Weise kann man nun das Verfahren praktisch ausführen. So kann man z. B. eine vegetabilische Faser mit fein verteiltem Osmium oder Osmiumverbindungen imprägnieren, oder fein verteiltes Osmium mit Zucker oder anderen organischen Klebstoffen zu einer Art Paste verreiben und unter hohem Druck durch Diamantdüsen zu Fäden pressen. Durch einfaches Glühen in einem Ofen in reduzierender

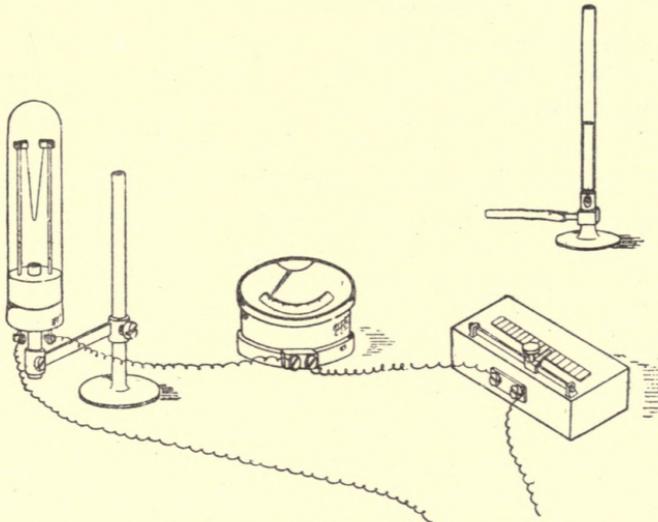


Fig. 12. Der erste Osmiumformierapparat.

Atmosphäre werden nun die Fäden verkohlt und osmiumhaltige Kohlefäden erhalten. Es folgt hierauf das Erhitzen in oxydierend-reduzierender Atmosphäre, das sogen. Formieren. Der Kohlenstoff wird dabei wegoxydiert, die einzelnen Osmiummetallteilchen schweißen bei der Glut zusammen, und es entsteht ein Draht aus reinem Osmium. Der Draht besitzt eine „metallschwammartige“ Struktur, ist elastisch, wenn auch nicht biegsam, und spröde, und im Gegensatz zu dem nach dem Legierungsverfahren hergestellten Draht nicht röhrenförmig, sondern kohärent. Damit ein absolut gleichmäßiger Querschnitt erreicht wird, was bei der Verwendung von vegetabilischen Fasern meistens nicht der Fall ist, unterwirft Auer den Osmiumfaden einem Egalisierungsprozeß, indem er denselben in einer Überosmiumsäuredampf enthaltenden reduzierenden Atmosphäre nachbehandelt. Ein in solcher Atmosphäre elektrisch erhitzter Faden

schlägt an den heller glühenden, also dünneren Stellen mehr Osmium nieder als an dickeren Stellen und wird dadurch in kurzer Zeit vollständig gleichmäßig. In der Fig. 12 ist der sehr interessante, überaus einfache Formierapparat abgebildet, dessen sich Auer in den ersten Versuchen bedient hat. In eine Glasglocke mündet ein gewöhnlicher Bunsenbrenner, dessen Flamme man absichtlich durchschlagen läßt. Die nur zum Teil verbrannten Gase strömen in die Glasglocke und erzeugen dort die gewünschte oxydierend-reduzierende Atmosphäre, in welcher der an den Klemmen hängende Osmium-Kohlefaden durch elektrischen Strom erhitzt und formiert werden kann.

Die Osmiumpatente von Auer betreffen nicht nur die Herstellung von Fäden aus reinem Osmium, sondern auch Fäden, welche aus Legierungen des Osmiums mit anderen Platinmetallen bestehen. Da alle anderen Platinmetalle viel tiefer schmelzen als das reine Osmium, durften die Legierungen naturgemäß nur ganz geringe Mengen anderer Platinmetalle enthalten. Es ist prinzipiell möglich, daß eine solche Osmiumlegierung manche Vorteile gegenüber dem reinen Osmium besitzt. So erniedrigt nach den physikalischen Gesetzen eine kleine Verunreinigung den Dampfdruck der Substanz, in der sie gelöst ist. In solchem Falle würde also der Osmiumfaden in geringerem Maße zerstäuben, also die Lampenglocke weniger schwärzen als ein reiner Osmiumfaden. Eine kleine Verunreinigung kann aber auch schon aus dem Grunde nützlich sein, weil durch diese das Kristallinischwerden des Fadens während der Brennzeit verlangsamt wird.

Auch der Zusatz von feuerbeständigen Oxyden, wie Thoroxyd, Zirkonoxyd usw. zu den Osmiumfäden wurde von Auer durch Patente geschützt. Die Oxyde können den Osmiumfaden durchsetzen oder auf diesem einen Überzug bilden. Das erste kann dadurch leicht erreicht werden, indem der Osmiumpaste die betreffenden Oxyde zugesetzt werden. Dabei erteilen sogar manche Oxyde, wie z. B. das Thoriumoxyd, der Paste eine größere Plastizität und erleichtern das Pressen der Fäden. Nach der Verkohlung und Formierung erhält man einen Metalldraht, der von dem verwendeten Oxyd innig durchsetzt ist und dementsprechend auch andere physikalische Eigenschaften besitzt. So kann der elektrische Widerstand durch entsprechenden Oxydzusatz in fast beliebiger Weise verändert werden. Einen Überzug von feuerfesten Oxyden auf Osmiumfäden kann man nach Auer erhalten, indem man der Osmiumpaste zugleich mit dem feuerfesten Oxyd auch ein bei Weißglut flüchtiges Oxyd, z. B. Aluminiumoxyd, zusetzt. Beim Formieren solcher Fäden schmilzt das Aluminiumoxyd und bildet zusammen mit den feuer-

esten Oxyden an der Oberfläche des Drahtes eine Schmelzschicht. Aus dieser verdampft im weiteren Verlaufe des Erhitzens das Aluminiumoxyd, bis schließlich das reine feuerfeste Oxyd als gleichmäßiger, festhaftender Überzug auf dem Osmiumfaden zurückbleibt. Bestreicht man fertige Osmiumfäden mit einem Brei, der aus Zucker oder anderem Klebstoff und einem Gemisch von einem feuerfesten Oxyd mit Aluminiumoxyd besteht, und bringt man die Fäden zu Weißglut, so kann man auch sehr schöne Überzüge von feuerfesten Oxyden auf Osmium erhalten. Die Vorteile, welche man sich von einem Zusatz feuerfester Oxyde zu den Osmiumdrähten versprochen hatte, waren folgende. Die Metalldrahtlampe hat den großen Nachteil, daß die Drähte zu große Leitfähigkeit besitzen und die Herstellung sehr dünner Drähte am Anfang fast unüberwindliche Schwierigkeiten bereitet. Jede Verkleinerung der elektrischen Leitfähigkeit der Drähte war also sehr willkommen. Nun ließ sich durch den Zusatz von feuerfesten Oxyden tatsächlich die Leitfähigkeit der Drähte wesentlich verringern. Das gilt hauptsächlich von den Drähten, welche in ihrer ganzen Masse von den nichtleitenden Oxyden durchsetzt waren. Auch ein Oxydüberzug könnte in mancher Hinsicht von Vorteil sein. Es könnte der Fall sein, daß manche Oxyde ein günstigeres Strahlungsvermögen besitzen als das Metall. Außerdem könnte durch solchen Überzug die Zerstäubung des Leuchtkörpers verringert werden, indem zuerst nur das Oxyd zerstäuben würde. Dies wäre ein großer Vorteil, da eine Zerstäubung des weißen Oxyds die Durchsichtigkeit der Lampenglocke viel weniger beeinträchtigt, als ein Beschlag von undurchsichtigem schwarzen Metall. In Wirklichkeit überwiegen jedoch die Nachteile, welche ein größerer Zusatz von Oxyden mit sich bringt, wesentlich die eben erwähnten möglichen Vorteile. Vor allem verändert ein solcher Leuchtkörper mit Oxydzusatz während des Brennens der Lampe seinen Leitungswiderstand, da die Oxyde im Vakuum beträchtlich verdampfen. Der Leuchtkörper leitet immer besser den Strom, und da gewöhnlich die Voltzahl konstant bleibt, verändern sich die Stromverhältnisse in der Lampe ununterbrochen, die Lampe brennt überlastet, wodurch die Lebensdauer stark verringert wird. Auch war ein Überzug von Oxyden auf den Drähten für die Qualität der Lampen nur nachteilig, da alle genannten Oxyde eine schwärzere, also ungünstigere Strahlung besitzen als das Osmium selbst. Übrigens verdampft schon nach kurzer Brenndauer der ganze Überzug, wodurch die Stromverhältnisse in der Lampe zuungunsten der Lebensdauer verändert werden. Noch ein sehr wichtiger Umstand spricht

gegen die Anwendung der feuerfesten Oxyde. Es ist bekannt, daß glühende, mit feuerfesten Oxyden, wie  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $ThO_2$  usw. bedeckte Körper als Kathoden in Vakuumentladungsgefäßen schon bei verhältnismäßig niedrigen Spannungen zu Entladungen führen. Glühende Oxyde besitzen nämlich einen sehr geringen Kathodenfall (Wehneltkathode). Schon bei 110 Volt-Lampen macht sich oft bei Gegenwart der genannten Oxyde im Leuchtkörper eine ähnliche Erscheinung in Form von Lichtbogenentladungen unangenehm bemerkbar, welche zur Zerstörung der Lampe führen. Dies sind nun tatsächlich die Ursachen, warum in der Praxis der Oxydzusatz in dem Umfange, wie durch die Patente von Auer vorgesehen, niemals Anwendung finden konnte.

Zur Befestigung der Osmiumdrähte an die Zuführungsdrähte empfiehlt Auer das Osmiumzement, einen wässrigen Brei von Osmium und Osmiumchlorid. Die zu befestigenden Enden wurden mit einem Klümpchen Osmiumzement verbunden. Die Verbindungsstellen wurden nach dem Trocknen schwach erhitzt, der Kitt backte dabei zusammen, wurde fest und bestand aus fast ganz reinem Osmium. Es ergaben sich aber bei der Verwendung des Zementes Schwierigkeiten, da dieses hartnäckig Gase okkludierte und dadurch das Vakuum in den Lampen verschlechterte. Die Auer-Gesellschaft verließ auch alsbald den Osmiumzement und besorgte die Befestigung der Osmiumdrähte an die Zuleitungen durch Verschmelzen der zu verbindenden Enden in einem elektrischen Flammenbogen (D. R. P. 162417 vom 27. Juli 1904). Die Anordnung der Osmiumfäden in der Lampe war am Anfang ähnlich der bei den Kohlenfadlampen. Da die elektrische Leitfähigkeit des Osmiums viel größer war als die der Kohlenfäden, mußten in der Lampe mehrere Drahtbügel angebracht werden. Da aber die Osmiumdrähte in der Glut ganz weich wurden, mußten die Fäden durch Schlingen, welche an der Glockenwand angebracht waren, gehalten werden (siehe Fig. 13). Bald wurde aber der für die Metalldrahtlampen so charakteristische mittlere Glasstab mit Haltern eingeführt (Fig. 14). Der Stengel bildet die Fortsetzung des Lampenfußes und ist zentrisch durch das Lampeninnere geführt. Am oberen Teil des Stengels wurden die Halter angebracht, welche aus einem hochschmelzenden Metalle, wie Platin, oder aus einem Oxyd, wie Thoroxyd-Magnesiumoxyd (Thoriumdioxydschleifen) (D. R. P. 128158, 10. Nov. 1900) bestanden. Die Osmiumfäden hingen ganz lose durch die Halter hindurch. Die Lampen konnten deshalb nicht in beliebiger Lage brennen, sondern nur vertikal, mit der Spitze nach unten gerichtet.

Durch die Einführung der starren Halterung wurden aber alsbald (1905) Osmiumlampen hergestellt, welche in beliebigen Lagen brannten.

Bei der Aufnahme der Fabrikation der Osmiumlampen durch die Auergesellschaft in Berlin hatten die höchstvoltigen Lampen 27 Volt. Die ersten Lampen, die verkauft wurden, waren für 37 Volt Spannung bestimmt, konnten also zu dritt in Serienschaltung mit 110 Volt betrieben werden. Bald wurden aber 55 Volt- und 73 Volt-Lampen fabriziert, und im Januar 1905 führt Dr. F. Blau die ersten

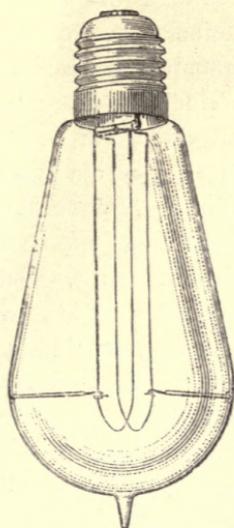


Fig. 13.

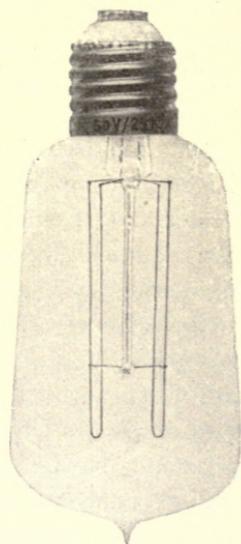


Fig. 14.

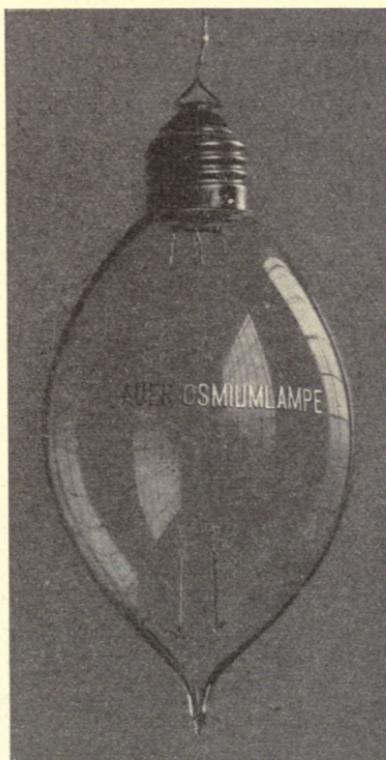


Fig. 15.

110 Volt-Lampen zu 32 und 35 Kerzen vor („Elektrotechn. Ztschr.“, Heft 8, 1905). Die Osmiumlampen wurden mit einem Energieverbrauch von 1,5 Watt pro Kerze gebrannt. Der Widerstandskoeffizient war bei  $20^{\circ}\text{C}$  0,095. Der Temperaturkoeffizient der

Leitfähigkeit 0,372 pro  $1^{\circ}$  C. Bei der normalen Belastung von 1,5 Watt pro Kerze hatte die Lampe einen 8,4fach so großen Widerstand wie bei gewöhnlicher Temperatur. Infolge des großen positiven Temperaturkoeffizienten der Leitfähigkeit beeinflussen Spannungsschwankungen das Licht der Osmiumlampe viel weniger als das der Kohlenfadenlampen. So gibt z. B. eine Erhöhung der Spannung um 10 % bei der Osmiumlampe nur einen um 6,5 % erhöhten Strom, während bei der Kohlenfadenlampe der Strom durch

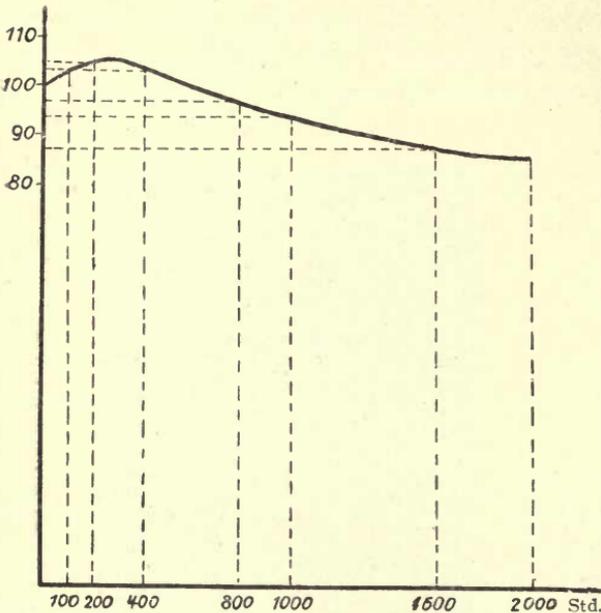


Fig. 16. Lichtveränderung von Osmiumlampen für 37 bis 44 V. und 25 bis 32 HK. in Prozenten der ursprünglichen Helligkeit.

gleiche Spannungserhöhung um 12 % erhöht wird. Die Nutzbrenndauer der Osmiumlampen beträgt bei der normalen Belastung etwa 2000 Stunden. In der Fig. 16 ist die Lichtänderung der Osmiumlampen während der Brennzeit in Prozenten der ursprünglichen Helligkeit angegeben.

Der Anstieg der Lichtkurve in den ersten 200 Stunden ist dadurch verursacht,

daß der ursprünglich raue Draht beim Brennen glätter, also seine Oberfläche kleiner wird. Da aber die zugeführte Energie dieselbe bleibt, wird die Temperatur des Leuchtkörpers höher, es wächst die Ökonomie und das ausgestrahlte Licht. Der nach etwa 200 Stunden eintretende Abfall der Lichtkurve wird durch das Überhandnehmen des Einflusses der Schwärzung der Lampe, sowie des Dünnerwerdens des Fadens infolge Zerstäubung, gegenüber dem Einfluß des erstgenannten Vorganges, verursacht. Die Osmiumlampe könnte auch die Belastung von etwa 1 Watt pro Kerze vertragen, ohne dabei wesentlich zu zerstäuben. Bei solcher Belastung stellt sich jedoch eine andere Erscheinung ein, und zwar die molekulare Veränderung des Leuchtkörpers, durch welche die Festigkeit beeinträchtigt und die Lebensdauer der Lampen verringert wird. Die ausgebrannten Lampen wurden von der Auergesellschaft mit 75 Pf. zurückvergütet.

Die nur geschwärzten Lampen konnten in der einfachsten Weise dadurch regeneriert werden, daß man durch Einlassen von Luft in die Lampe und Erhitzen der Lampenglocke den schwarzen, undurchsichtigen Osmiummetallbeschlag in weißes  $OsO_4$  verwandelte. Osmiumlampen, welche von vornherein mit geringen Quantitäten von Sauerstoff oder oxydierenden Gasen gefüllt wurden, verhielten sich beim Brennen besonders gut. Die Ursache ist eben darin zu erblicken, daß der Sauerstoff das zerstäubte Osmiummetall in farbloses  $OsO_4$  umwandelt und dadurch die Schwärzung der Lampe verhindert, während gleichzeitig das entstehende  $OsO_4$  sich an den heißeren, also dünneren Stellen des Leuchtdrahtes unter Abscheidung von Metall zersetzt und dadurch auf den Leuchtdraht egalierend wirkt. Der günstige Einfluß der Sauerstofffüllung bei den Osmiumlampen wurde frühzeitig erkannt, und von der Österreichischen Gasglühlicht- und Elektrizitätsgesellschaft in Wien (D. R. P. 143454 vom 29. Mai 1902) und der Deutschen Gasglühlicht-Akt.-Ges. in Berlin (D. R. P. 153327 vom 14. Juni 1903) beschrieben.

## Die Wolframlampen.

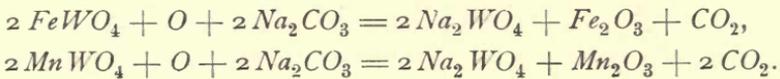
Das Wolfram ist ein in allen Erdteilen reichlich verbreitetes Element. Die Wolframerze bestehen meistens aus Verbindungen, in denen das Wolfram als  $WO_3$  den sauren Teil, das Eisen, Mangan, Kalzium oder Bleioxyd den basischen Teil bilden. Die wichtigsten Wolframminerale sind: 1. Wolframit, ein Eisen-Mangan-Wolframat mit wechselndem Eisen- und Manganengehalt, dagegen recht konstantem Gehalt an Wolframsäure von 74 bis 77 %. Das Mineral besitzt die Härte 5 bis 5,5, spezifisches Gewicht 7,2 bis 7,55. Die Farbe ist dunkelbraun bis schwarz mit metallischem Glanz. Das Mineral wird hauptsächlich für die Ferrowolframdarstellung verwendet. 2. Hübnerit, ein Manganwolframat mit 73 bis 77 %  $WO_3$ . Das Mineral besitzt eine bräunlichrote Farbe. Bezüglich Härte, Kristallform, spezifisches Gewicht ähnlich dem Wolframit. 3. Scheelit, ein Kalziumwolframat. Das Mineral enthält in reinem Zustand 80,6 %  $WO_3$ . Die Farbe ist weiß, mit einem Stich ins Gelbe oder Braune. Die Härte ist 4,5 bis 5, das spezifische Gewicht 5,9 bis 6,1. Weniger wichtig sind die Mineralien wie Stolzit, Ferberit, Megabazit, Tungstit oder Wolframocker. Der Tungstit ist ein natürlich vorkommendes Wolframsäurehydrat, welches sekundär durch die Zersetzung von Wolframit oder Scheelit entstanden ist. Das Mineral läßt sich leicht pulverisieren, besitzt goldgelbe Farbe und einen Wolframsäuregehalt

von etwa 92,8 0/0. Die Wolframerze kommen am häufigsten in Zinnerzlagerstätten vor, seltener in Eisenerzlagerstätten, auf Klüften von kristallinem Schiefer oder Trachyt. Die größten Fundstätten befinden sich in Australien (Queensland), den Vereinigten Staaten, Colorado, Südamerika, Großbritannien (Cornwall), Portugal und Spanien. Kleine Mengen findet man auch in Deutschland (Sachsen), Frankreich (Vogesen) und Ungarn. Die Produktion der einzelnen Gruben richtet sich nach der Marktlage des Wolframs. So förderte z. B. Spanien im Jahre 1900, wo 1 kg Wolfram mit 9,50 Mk. bezahlt wurde, 1958 Tonnen von 401336 Mk. Wert, während im nächstfolgenden Jahre infolge der schlechten Marktlage (3,50 Mk. pro Kilogramm *W*) kaum 6 Tonnen gefördert wurden. Ähnlich, wenn auch weniger schwankend, sind die Produktionsverhältnisse in anderen Ländern. Daraus ersieht man, daß bei genügend hohem Preis noch unverhältnismäßig größere Mengen von Wolframerzen produziert werden könnten, als zurzeit gefördert werden.

Die Aufarbeitung der Erze richtet sich nach der Beschaffenheit und dem Verwendungszweck derselben. Alle Erze werden zuerst einer Vorbehandlung unterworfen, welche meistens gleich in der Nähe der Förderstellen ausgeführt wird. Die Vorbehandlung bezweckt die Konzentration und Reinigung der Erze. Die Erze werden pulverisiert, und durch Schlämmprozesse oder auf Schüttelherden werden die spezifisch schwereren Wolframminerale von dem leichteren Quarz, der hauptsächlich Verunreinigung, getrennt. Der Schwefel, welcher in Chalkopyriten oder Blenden als Verunreinigung der Erze vorkommt, wird von den Wolframmineralien am leichtesten mittels eines elektrostatischen Separators getrennt. Hier wird infolge der verschiedenen elektrischen Kapazität der Mineralien beim Durchgang der feingepulverten Erze zwischen mit hohen elektrischen Ladungen versehenen Flächen eine weitgehende Trennung der schwefelhaltigen Mineralien von den Wolframmineralien bewirkt. Für manche Zwecke, wie z. B. die Ferrowolframfabrikation, ist eine weitere Reinigung der Erze nicht erforderlich. Die Erze, welche der beschriebenen Vorbehandlung unterworfen wurden, werden mit Holzkohlenpulver zur Reduktion und mit Quarz (zur Verschlackung der neben dem Eisen in den Erzen noch vorhandenen basischen Bestandteile, hauptsächlich der Erdalkalien) versetzt. Dem Gemisch wird noch etwas Koloophonium oder Pech zugesetzt, welche durch Schmelzen eine Entmischung des spezifisch schweren Wolframerzes von der leichten Holzkohle verhindern. Durch hohes Erhitzen des Gemisches in Tiegelrn tritt die Reduktion des Erzes ein und man erhält ein Ferro-

wolfram, das je nach der Zusammensetzung des verwendeten Erzes 50 bis 97 % Wolfram neben Eisen und geringen Spuren von Kohlenstoff, Mangan und Silizium enthalten kann. Das Ferrowolfram wird für die Stahlfabrikation (Schnelldrehstahl) in großen Mengen verwendet, welche den Hauptkonsumenten der Wolframerze vorstellt. In den meisten anderen Fällen handelt es sich um die Darstellung der Wolframsäure aus den Wolframerzen, welche erst in mehreren chemischen Operationen durchgeführt werden kann.

Die Wolframsäure bildet das Ausgangsmaterial für die Darstellung der verschiedensten Wolframpräparate und des reinen Wolframmetalls für Glühlampenzwecke und Legierungszwecke. Je nach der Zusammensetzung des Erzes richtet sich dessen Aufarbeitung. Die Erze, welche größere Mengen Eisen oder Mangan enthalten, wie das Wolframit oder Hübnerit, werden am besten durch oxydierendes Rösten mit alkalischen Zuschlägen aufgearbeitet. Der Vorgang spielt sich auf folgende Weise ab:



Für diesen Vorgang braucht man keine sehr hohe Temperatur, da sich derselbe am besten bei Temperaturen abspielt, welche unterhalb der Temperatur des Zusammenschmelzens der Masse liegt. Nach erfolgter Röstung wird das Röstgut mit Wasser ausgelaugt, wobei das leichtlösliche Natriumwolframat in Lösung geht. Durch Kristallisation läßt sich das Salz reinigen und durch Fällung mit Salzsäure daraus das reine Wolframsäurehydrat gewinnen. Es sind auch andere Verfahren bekannt, nach welchen die Wolframerze aufgearbeitet werden. So werden die Erze z. B. mit Natriumbisulfat unter Zusatz von Kalk, Kalksalzen oder Chloralkalien, oder in reduzierender Schmelze mit Zusatz von Kohle aufgeschlossen. Der Scheelit, welcher von der Glühlampenindustrie vorwiegend verwendet wird, kann durch einfaches Verschmelzen mit Natriumkarbonat nach folgendem Vorgang aufgeschlossen werden:



Nach einem anderen Vorgang wird der Scheelit mit konzentrierter Salzsäure aufgeschlossen, wobei sich Wolframsäure und Kalziumchlorid bildet.  $CaWO_4 + 2 HCl = CaCl_2 + WO_3 \cdot H_2O$ . Nach Abgießen der Chlorkalziumlösung und Waschen des Rückstandes erhält man die Wolframsäure, welche zur Reinigung in konzentriertem Ammoniak gelöst wird. Durch Kristallisation des

Ammonsalzes,  $(NH_4)_{10}W_{12}O_{41} \cdot 11 H_2O$ , kann eine weitgehende Reinigung erzielt werden, worauf aus dem Ammonsalz durch einfaches Verglühen oder Fällen mit Salzsäure die reine Wolframsäure gewonnen wird. Die aus dem Ammonsalz gewonnene Wolframsäure hat vor dem mit Natriumkarbonat gewonnenen Produkt den Vorzug, daß sie alkalifrei ist. Die geringste Spur von Natrium erteilt der gelben Wolframsäure einen deutlich grünen Stich. Die Feinheit der Wolframsäure hängt sehr von der Darstellung ab. Für Glühlampenzwecke spielt die Feinheit der Wolframsäure, da sie auch ausschlaggebend ist für die Feinheit des aus ihr gewonnenen Metalles, eine große Rolle. Bei der Fällung der Wolframsäure aus deren Salzlösungen mit Salzsäure ist die Temperatur und Konzentration der zur Wechselwirkung gebrachten Lösungen für die Feinheit der Wolframsäure von großem Einfluß. Im allgemeinen kann man sagen, daß, je konzentrierter die Lösungen und je tiefer die Fällungstemperatur ist, um so feiner wird das gefällte Produkt. Das in der Kälte ausgefällte Wolframsäurehydrat ist weiß und in Salzsäure in beträchtlichem Maße löslich. Durch Erwärmung wird das Hydrat gelb. Die Fällung in der Wärme, welche in der Praxis meistens ausgeführt wird, ergibt ein gelbes, in Salzsäure nur sehr schwer lösliches Wolframsäurehydrat. Durch Erhitzen des Wolframsäurehydrats bei etwa 300 bis 400 °C erhält man das wasserfreie Wolframtrioxyd. Durch stärkeres Erhitzen wird das hellgelbe Wolframtrioxyd gelborange, die hellgelbe Farbe tritt jedoch bei Abkühlung sofort wieder ein. Das spezifische Gewicht der Wolframsäure ist verschieden, je nach der Darstellung und Erhitzung. Die Angaben schwanken zwischen 5,3 bis 7,1. Die Wolframsäure schmilzt bei hoher Weißglut und ist sublimierbar. Leitet man Chlorwasserstoffgas über schwach erhitztes Wolframtrioxyd, so verflüchtigt sich die Wolframsäure sehr leicht in Form von weißen Kristallnadeln, die aus einer Doppelverbindung von  $WO_3$  und  $HCl$  bestehen. Das  $WO_3$  ist in allen Säuren mit Ausnahme von Flußsäure unlöslich. Zur Herstellung der Wolframsalze wird die Wolframsäure durch Schmelzen mit Alkalikarbonaten in das entsprechende Alkaliwolframat überführt.

Die Wolframsäure bildet das Ausgangsmaterial für die Darstellung des Wolframmetalls in allen jenen Fällen, in welchen es sich um ein reines Metall handelt. Die Reduktion der Wolframsäure gelingt auf die verschiedenste Weise. Durch Erhitzung mit Holzkohle erhält man ein kohlenstoffreiches Wolfram, welches in der Eisenindustrie Verwendung findet. Auch die mit Aluminium,

nach dem Goldschmidtschen Verfahren, reduzierte Wolframsäure gibt kein reines Metall, sondern eine Wolframlegierung mit etwa 2 % Aluminium. Die für die Herstellung von reinem Wolfram in Betracht kommenden und von den Glühlampenfabriken fast einzig benutzten Verfahren sind die Reduktion der Wolframsäure mit Zink nach Delépine („Compt. rend.“, Bd. 131, S. 184) und die Wasserstoffreduktion. Die Reduktion mit Zink wird auf folgende Weise ausgeführt: Gut ausgeglühte Wolframsäure wird mit Zinkpulver, am besten Zinkgrieß, im Verhältnis  $1 \text{ WO}_3 : 1\frac{1}{2} \text{ Zn}$  innig vermengt. Das Gemisch wird in einen Porzellan- oder Schamottetiegel getragen und mit einem Gasbrenner vorsichtig erwärmt. Ist die Erwärmung so weit vor sich gegangen, daß das Zink einen merklichen Dampfdruck erhält, so tritt unter großer Wärme und Lichtentwicklung die Reaktion ein. Das durch die Hitze zum Teil verdampfte Zink verbrennt mit blendender, hellvioletter Flamme. In kurzer Zeit — etwa 20 Sekunden — ist die Reaktion beendet. Der abgekühlte Tiegelinhalt enthält nunmehr neben Wolframpulver nur Zinkoxyd und Zinkmetall. Durch Behandlung mit verdünnter Salzsäure löst sich das *Zn* und *ZnO* auf, und das Wolfram bleibt in Gestalt eines äußerst feinen, schwarzen Pulvers zurück. Das Metall ist sehr rein und enthält nur geringe Spuren von Zink. Diese Verunreinigung kommt infolge der großen Flüchtigkeit des Metalles gar nicht in Betracht, da sich das Zink bei den hohen Herstellungstemperaturen der Wolframglühkörper gänzlich verflüchtigt. Die außerordentlich feine Verteilung des nach dem Delépine-Verfahren hergestellten Wolframs war den Glühlampenfabrikanten früher sehr erwünscht, da für die Herstellung von ganz feinen Wolframdrähten nach den älteren Verfahren auch ein sehr fein verteiltes Wolframpulver benötigt wurde. Als Ausgangsmaterial für das kolloidale Wolfram nach Kužel ist das Delépine-Wolframmetall geradezu ideal. Ein sehr reines Wolframpulver erhält man durch Reduktion von  $\text{WO}_3$  im Wasserstoffstrom. Die Reduktion der  $\text{WO}_3$  zu Metall geht dabei stufenweise über die blauen Wolframoxyde und das braune Wolframdioxyd vor sich. Die Feinheit des dabei erhaltenen Wolframpulvers richtet sich nach der Feinheit der verwendeten Wolframsäure, sowie des Ausführens des Reduktionsprozesses. Will man ein sehr feines Metall herstellen, so muß man von möglichst feiner Wolframsäure ausgehen. Dabei reduziert man im Wasserstoffstrom zuerst bei möglichst tiefer Temperatur, etwa  $550^\circ \text{C}$ , und steigert die Glut langsam bis auf etwa  $1000$  bis  $1100^\circ \text{C}$ . Um grobes Wolframpulver zu erhalten, empfiehlt es sich, die Wolframsäure durch

starkes Glühen bei etwa 1300 bis 1400 °C in ein grobkristallines Material umzuwandeln. Diese Wolframsäure wird nun gleich bei hoher Temperatur (etwa 1100 bis 1300 °C) im Wasserstoffstrom reduziert. Das dabei erhaltene Pulver ist hellgrau und besitzt ein hohes spezifisches Gewicht. Grobes Wolframpulver kann man auch erhalten, wenn man die Reduktion der Wolframsäure im verhältnismäßig feuchten oder sauerstoffhaltigen Wasserstoff vornimmt. Die Reduktion der Wolframsäure wird je nach der Temperatur, bei welcher die Reduktion ausgeführt werden soll, in Glasröhren, Eisenröhren oder Porzellanröhren ausgeführt. Die Wolframsäure wird in Schiffchen durch solche auf beliebige Weise erhitzte Röhren geschoben, während gleichzeitig der Wasserstoff in entgegengesetzter Richtung das Rohr passiert. Will man ein vollkommen sauerstofffreies Metall darstellen, so muß der zur Reduktion verwendete Wasserstoff sehr trocken und möglichst sauerstofffrei sein. Zu diesem Zwecke muß der Wasserstoff vor dem Eintritt in das Reduktionsrohr eine glühende Röhre oder ein schwach erwärmtes, mit Palladiumasbest gefülltes Rohr passieren, wodurch eine vollständige Vereinigung des im Wasserstoff als Verunreinigung enthaltenen Sauerstoffes mit dem Wasserstoff bewirkt wird. Durch Trockenmittel, wie Phosphorpentoxyd oder konzentrierte Schwefelsäure wird schließlich der dabei entstehende Wasserdampf vollständig aus dem Wasserstoff entfernt. Die Wichtigkeit der Trocknung und Befreiung des Wasserstoffes von Sauerstoffspuren wurde besonders in letzter Zeit bei den Versuchen, welche zur Duktilisierung des Wolframs führten, erkannt. Noch einige andere Methoden sind bekannt, nach welchen die Reduktion der Wolframverbindungen zu Wolframmetall gelingt.

Vor allem ist hier die elektrolytische Reduktion zu erwähnen. Man versprach sich, durch die Elektrolyse ein besonders reines Wolframmetall zu erhalten. Während durch die Elektrolyse von Alkaliwolframat an der Kathode nur Wolframbronzen zur Abscheidung gelangten, soll es L. A. Hallopeau („Compt. rend.“, Bd. 124, S. 755) gelungen sein, aus Lithiumparawolframat durch Elektrolyse metallisches Wolfram kathodisch abzuscheiden. Auch die Wolframlampen-Akt.-Ges. in Augsburg hat die Herstellung des metallischen Wolframs auf elektrolytischem Wege versucht und durch Patent geschützt (D. R. P. 231657, 1910). Die Firma verwendet für diesen Zweck eine Lösung von Perwolframsäure oder Alkaliperwolframat in Wasser oder organischen Lösungsmitteln, durch deren Elektrolyse an der Kathode metallisches Wolfram ab-

geschieden werden soll. Auch aus der Lösung von Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ ) in Azeton soll sich nach den Angaben derselben Firma durch Elektrolyse das metallische Wolfram abscheiden lassen (D. R. P. 237014, 1910). Es scheint aber, daß praktische Erfolge mit diesen Verfahren bisher nicht erzielt werden konnten. Die Wolframlampen-Akt.-Ges. in Augsburg empfiehlt in dem D. R. P. 239877 vom 12. Juni 1910 ein Verfahren zur Gewinnung eines für die Herstellung von Wolframglühfäden geeigneten lockeren Wolframpulvers aus Wolframtrioxyd. Hiernach wird reines, trockenes und feinpulveriges Wolframtrioxyd mit Phosphorpulver innig vermengt und in einer indifferenten Gasatmosphäre erhitzt. Der Phosphor reduziert dabei das Wolframtrioxyd zu Wolframmetall. Auch durch die Reduktion der Wolframchloride kann man zu Wolframmetall gelangen. Vor allem kommen hier das  $WCl_6$  und  $WOCl_4$  in Betracht. Beide geben mit Wasserstoff bei hoher Temperatur ein sehr feines pyrophorisches Wolframpulver.

Nach verschiedenen Verfahren gelingt es, aus reinem Wolfram drahtförmige Gebilde herzustellen. Diese sogen. Wolframfäden wurden die längste Zeit hindurch nur in sprödem Zustande erhalten. Ebenso waren die durch Erschmelzen von Wolframpulver erhaltenen Wolframklumpen harte, spröde Massen. Erst in letzter Zeit ist es gelungen, Verfahren auszuarbeiten, nach denen man zu biegsamen, duktilen Wolframgebilden gelangen kann. Das Wolframmetall besitzt eine dem Stahl ähnliche Farbe. Der Schmelzpunkt des Wolframs, die für die Glühlampenfabrikation allerwichtigste Eigenschaft des Metalles, ist sehr hoch. Er wurde von den verschiedensten Forschern bestimmt, und man kann wohl jetzt behaupten, daß man recht genaue und sichere Angaben über diese Eigenschaft des Wolframs besitzt. Aus den Messungen von von Wartenberg ergibt sich die wahre Schmelztemperatur des Wolframs zu  $2900^{\circ}C$  („Ber. d. Deutsch. chem. Ges.“ 1907, S. 3287; „Verh. d. Deutsch. physik. Ges.“, Bd. XII, Nr. 3 [1909]). Aus letzter Zeit liegt eine Bestimmung des Wolframschmelzpunktes von von Pirani und Meyer vor, welche den Schmelzpunkt zu  $2965^{\circ}C$  bestimmt haben („Verh. d. Deutsch. physik. Ges.“ 1912, S. 426). Auch Otto Ruff („Zeitschr. f. angew. Chemie“ 1912, S. 1894) bestätigt diese Angaben. Das spezifische Gewicht des geschmolzenen Wolframs wird übereinstimmend zu 18,70 angegeben. Durch Bearbeitung nimmt das spezifische Gewicht des Metalles zu, und C. G. Fink (Vortrag, gehalten anlässlich der 17. Generalversammlung der Americ. El. Chem. Soc. in Pittsburg am 5. Mai 1910) findet beim gezogenen Wolfram folgende Werte:

Durchmesser des Wolframdrahtes	Spezifisches Gewicht
3,75 mm	19,30,
0,25 „	19,58—19,64,
0,038 „	19,86—20,19.

Der elektrische Widerstand beträgt bei 25 ° C für hartgezogenes 6,2, für ausgeglühtes Wolfram 5,0 Mikroohm/ccm. Der Temperaturkoeffizient der elektrischen Leitfähigkeit beträgt zwischen 0 bis 170 ° C 0,0051 pro 1 ° C. Der Wärmeausdehnungskoeffizient ist sehr klein und beträgt nur  $336 \cdot 10^{-8}$ , ist also mehr als zweimal so klein wie der des Platins. Die spezifische Wärme des Metalles ist nach Défacqz und Guichard („Ann. Chim. Phys.“, Bd. 24, S. 139) bei 99,81 bis 99,87prozentigem Wolfram bei 100 ° C — 0,0340, 260 ° C — 0,0360, 430 ° C — 0,0375, woraus sich die Atomwärme zu 6,26, 6,62 und 6,9 ergibt. Die Zugfestigkeit des Wolframdrahtes ist besonders groß (C. G. Fink, l. c.) und wächst mit der Bearbeitungsmenge.

Durchmesser des Wolframdrahtes in Millimeter	}	0,125	0,070	0,038	0,030,
Zugfestigkeit in Kilogramm pro Quadratmillimeter		}	322—343	336—371	385—420

Das Wolfram ist paramagnetisch. An der Luft ist das Wolfram beständig und behält seinen Glanz unbegrenzt lange. Es oxydiert sich erst bei höherer Temperatur, wobei es, ähnlich dem Eisen, Anlauffarben bekommt. Die Reihenfolge derselben ist Gelb, Braun, Blau bis Gelb der Farbe des  $WO_3$ . Durch Wasserdampf wird das Wolfram erst bei Rotglut angegriffen. Salzsäure und Schwefelsäure greifen das Metall gar nicht an, Königswasser und Salpetersäure nur sehr schwach. Das Metall löst sich leicht in geschmolzenen Nitraten und Nitriten. Diese Eigenschaft wird zum Anspitzen der Wolframdrähte beim Ziehverfahren benutzt. Ein in geschmolzenes Kaliumnitrit eingetauchter Wolframdraht reagiert mit der Schmelze so heftig, daß er in Rotglut gerät. Oxydierende alkalische Lösungen, wie alkalisches Wasserstoffsuperoxyd, alkalisches Kaliumferrizyanid usw. lösen das Wolfram recht gut auf. Von den Halogenen wird das Wolfram erst bei höheren Temperaturen angegriffen. Alle oben angeführten Eigenschaften beziehen sich auf das kompakte, durch Sinterung oder Schmelzen erhaltene, eventuell auch mechanisch behandelte Wolfram. Bei der Beschreibung der verschiedenen Ver-

fahren zur Herstellung der Leuchtkörper für Glühlampen aus Wolfram sollen noch andere bemerkenswerte Eigenschaften dieses Metalles erwähnt werden.

### Das Molybdän, seine Darstellung und Eigenschaften.

Für die Glühlampenindustrie besitzt auch das Schwisterelement des Wolframs, das Molybdän, große Bedeutung. Als Material für Leuchtkörper, wie es in fast allen Patenten gleichzeitig mit dem Wolfram vorgeschlagen wird, ist es kaum zu verwenden. Hingegen hat sich das Metall für Halterzwecke als außerordentlich brauchbar erwiesen, so daß die Herstellung des Metalles in vielen Fabriken einen wichtigen Fabrikationszweig darstellt. Die Erze, in welchen das Molybdän vorkommt, sind auf der ganzen Erde verbreitet. Die Mineralien, aus denen die Erze hauptsächlich bestehen, sind meistens Salze der Molybdänsäure. Die wichtigsten Molybdänmineralien sind: Der Molybdänit  $MoS_2$ , auch Molybdänglanz oder Wasserblei genannt. Es findet sich auf Zinnerzlagern und in Magneteisenlagern in Gotthard, Zinnwald (Böhmen), Altenberg (Sachsen) usw. Wulfenit oder Gelbbleierz  $PbMoO_4$  findet sich in Kärnten (Bleiberg, Schwarzenbach), Ruskitza, Annaberg, Schneeberg, Badenweiler usw. Powellit  $CaMoO_4$ . Vorkommen: Peacock-Erzgang im Distrikt der „Seven Devils“-Mine im westlichen Idaho. Auch Molybdänoxyde kommen als Mineralien vor, so z. B. als Molybdänocker  $MoO_3$  oder Ilsemannit ( $MoO_2 \cdot 4MoO_3$ ). Die Darstellung der Molybdänsäure aus den Erzen gelingt leicht auf verschiedene Weise. Sehr leicht ist die Verarbeitung des Molybdänits auf  $MoO_3$ . Man braucht zu diesem Zwecke den Molybdänit im Luftstrom zu erhitzen, bis alles oxydiert und das  $MoO_3$  sublimiert ist. Man kann auch durch Rösten des fein zerriebenen Molybdänits, dem man gleiches Volum reinen Sandes zugefügt hat, das  $MoS_2$  in  $MoO_3$  umwandeln und mit Ammoniak das ganze  $MoO_3$  in Lösung bringen. Aus Gelbbleierz kann das  $MoO_3$  sowohl durch die Zersetzung des Minerals mit Säuren, wie auch durch die Zersetzung mit Alkalikarbonaten oder Alkalibisulfiden gewonnen werden. Die Molybdänsäure wird durch Fällung von molybdänsaurem Ammon mit Säuren gewonnen. Auch durch einfaches Erhitzen des molybdänsauren Ammons entsteht das Molybdäntrioxyd unter Abspaltung von Wasser und Ammoniak. Das Molybdäntrioxyd ist ein weißes Pulver. Es sublimiert bei Rotglut. Zur Darstellung des Metalles aus dem Molybdäntrioxyd kann man fast alle Methoden anwenden, die auch bei der Darstellung des Wolframs aus Wolframtrioxyd gebräuchlich

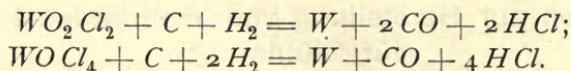
sind. Vornehmlich wird das Metall durch Reduktion des Oxydes im Wasserstoffstrom dargestellt. Die Reduktion muß infolge der Flüchtigkeit des Oxyds, insbesondere zu Beginn, bei recht tiefer Temperatur, etwa  $500^{\circ}\text{C}$ , ausgeführt werden, zum Schluß steigert man die Temperatur bis zur hellen Rotglut. Das Molybdänmetall besitzt im allgemeinen dem Wolfram ähnliche Eigenschaften. Durch Reduktion aus  $\text{MoO}_3$  hergestellt, stellt es ein schwarzes bis hellgraues Pulver dar, welches geschmolzen oder gesintert ein silberweißes, weiches Metall darstellt, das sich insbesondere in der Wärme sehr gut zu Draht und Blech verarbeiten läßt. Das spezifische Gewicht des gezogenen Drahtes von 0,25 mm Durchmesser ist 10,04, bei 0,037 mm Durchmesser 10,29. Vor dem Ziehen beträgt das spezifische Gewicht 10,02. Der elektrische Widerstand des duktilen Molybdäns beträgt bei  $25^{\circ}\text{C}$  5,6 Mikroohm für hartgezogenen, 4,8 Mikroohm für angelassenen Draht. Der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes (0 bis  $170^{\circ}\text{C}$ ) ist 0,050 pro  $1^{\circ}\text{C}$ . Die Zugfestigkeit des Molybdändrahtes beträgt bei einem Draht von 0,125 mm Durchmesser 144 bis 187 kg/qmm, bei solchem von 0,037 mm Durchmesser 194 bis 244 kg/qmm; es nimmt also die Zugfestigkeit des Drahtes ebenso wie das spezifische Gewicht mit der Bearbeitungsmenge zu (C. G. Fink, „Am. Electroch. Soc. Met. Chem. Engin.“, Bd. 8, S. 341 [1910]). Die spezifische Wärme des Molybdänmetalls ist 0,055 (Richards und Jackson, „Zeitschr. f. physik. Chemie“, Bd. 70, II. Arrheniusband, S. 414). Der Schmelzpunkt ist  $2450^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$  (Pirani und Meyer, „Verh. d. Deutsch. physik. Ges.“, Bd. 14, S. 426 [1912]). Das Molybdänmetall behält seinen Glanz an der Luft fast unbegrenzt lange. Beim Erhitzen läuft es zuerst gelb, dann braun, blau, blaurot bis schwarz an, höher erhitzt, fängt es an unter Ausstoßen von schweren, weißen Dämpfen zu Molybdäntrioxyd zu verbrennen. Wasser greift das Molybdänmetall nicht an. Luftfreier Wasserdampf läßt das Mo-Metall auch bei Rotglut unverändert. Säuren greifen das Molybdän im allgemeinen leichter an als Wolfram. Sowohl verdünnte wie konzentrierte Salpetersäure greift das Metall leicht an. Durch Salzsäure und Schwefelsäure wird das Molybdän nur sehr wenig angegriffen. Die geschmolzenen Oxydantien, wie Natriumnitrat und -Nitrit, Natriumsuperoxyd, Kaliumbisulfat usw., greifen das Molybdän unter Bildung von Molybdaten sehr energisch an. Nitrate bilden gleichzeitig  $\text{NO}$ , Nitrite  $\text{N}_2$ , welches unter Sieden der Schmelze entweicht. Das Molybdänmetall gerät infolge der heftigen Reaktion in Glut.

## Verfahren zur Herstellung von Wolframleuchtkörpern für Glühlampen.

In den folgenden Ausführungen werden nur die wichtigsten Verfahren, welche in der Praxis Eingang gefunden haben, eingehend behandelt werden. Es ist nicht die Absicht des Verfassers, ein vollständiges Bild über alle bekannten Wolframpatente, die in überaus großer Zahl vorhanden sind, zu geben. Übrigens besitzen wir bereits eine sehr gute Zusammenstellung der älteren Wolframpatente in dem ausgezeichneten Buche von Dr. Heinrich Leiser (Wolfram, eine Monographie, Verlag von Wilhelm Knapp, Halle a. S. 1910). Wohl haben durch die in neuester Zeit bekanntgewordene Duktilisierung des Wolframs auch die wichtigsten älteren Verfahren ihre Bedeutung fast gänzlich verloren. Es scheint dem Verfasser jedoch aus historischen und praktischen Gründen immer noch unerlässlich, auch die älteren Verfahren zu besprechen. Um mit einem Gebiete vertraut zu sein, dazu gehört nicht nur die Kenntnis der allerneuesten Erfindungenschaften, sondern auch der geschichtlichen Entwicklung. Gar oft kommt es vor, daß die Kenntnis alter verlassener Methoden Erfinder und Forscher zu neuen, glänzenden Erfolgen führt. Die Verfahren, welche zur Herstellung von Wolframleuchtkörpern führen, kann man in folgende einteilen: 1. Das Substitutionsverfahren, 2. das Spritzverfahren, 3. Legierungsverfahren, 4. Mechanische Verfahren.

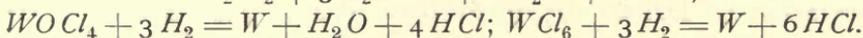
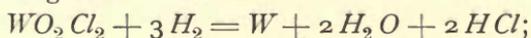
### Das Substitutionsverfahren.

Die Erfinder dieses Verfahrens, mit welchem das Wolfram zum erstenmal als Leuchtkörpermaterial in Vorschlag gebracht wurde, sind Dr. Alexander Just und Franz Hanaman in Wien (D. R. P. 154262 vom 15. April 1903). Das Prinzip des Verfahrens beruht darauf, daß ein glühender Kohlenfaden in einer Atmosphäre von Wolframoxychloriden und Wasserstoff sich in einen Faden aus reinem Wolfram umwandeln läßt. Die Ausführung und der Vorgang des Verfahrens ist folgender: Unter einer Glasglocke wird in einer passenden Klemmvorrichtung ein Kohlenfaden festgeklemmt und durch elektrischen Strom auf helle Rotglut erhitzt. Im unteren Teil der Glocke befindet sich ein Gefäß mit Wolframoxychlorid, welches erhitzt wird und die Glocke mit Dämpfen von Oxychloriden erfüllt. Gleichzeitig wird ein schwacher Strom von Wasserstoff durch den Gasraum der Glocke geleitet. Der glühende Kohlenstoff entzieht nun dem Wolframoxychlorid den Sauerstoff, während der Wasserstoff das Chlor bindet. In der chemischen Formelsprache lautet der Vorgang:



Wir sehen, daß bei diesem Prozesse aus dem Oxychlorid sich metallisches Wolfram ausscheidet. Die Ausscheidung geschieht gerade an der Stelle, an welcher eben der Kohlenstoff zu Kohlenoxyd verbrannt wird, es tritt also gleichsam eine Ersetzung, Substitution des verschwindenden Kohlenstoffes durch Wolfram ein. In kurzer Zeit ist der ganze Kohlenfaden mit einer Wolframbhülle bedeckt. Bei der hohen Temperatur löst der im Innern noch vorhandene Kohlenstoff das Wolfram zu einem Karbid auf und diffundiert auf die Oberfläche. Hier oxydiert er nun wieder und bringt äquivalente Mengen von Wolframmetall zur Abscheidung. Der Faden wird immer wolframhaltiger, der Kohlenstoff nimmt fortwährend ab, schließlich ist er ganz wegoxydiert. Es verbleibt ein Faden aus reinem Wolfram. Damit der Vorgang richtig abläuft, muß die zugeführte Wasserstoffmenge sehr klein sein, da sonst der Wasserstoff neben dem Chlor auch den Sauerstoff, dieses zur Entfernung des Kohlenstoffes notwendige Element des Wolframoxychlorids, selbst bindet. Das Resultat ist, daß bei Gegenwart größerer Wasserstoffmengen eine Hülle von Wolframmetall den glühenden Kohlenstoff umkleidet, welcher bei dem Vorgang nicht entfernt wird, sondern als Kern des Fadens zurückbleibt. Wolframfäden, die Kohlenstoff enthalten, sind für Glühlampenzwecke völlig unbrauchbar, da das entstehende Wolframkarbid viel tiefer schmilzt als das reine Wolfram. Es ist also beim Substitutionsverfahren besonders wichtig, den Kohlenstoff gänzlich zu entfernen. Oft geschieht es, daß auch bei Anwendung geringer Mengen Wasserstoffgas neben Wolframoxychlorid der Kohlenstoff nicht bis auf die letzten Spuren entfernt wird. Es muß dann der Faden einer Nachbehandlung unterworfen werden. Die Nachbehandlung (D. R. P. 184379 vom 9. Juli 1905) kann darin bestehen, daß man die formierten Fäden in einem Tiegel in ein feines Pulver von niederen Wolframoxyden einbettet und auf etwa 1600 ° C erhitzt. Dabei vollzieht sich die Oxydation des in den Fäden enthaltenen Kohlenstoffes auf Kosten des Sauerstoffes der Wolframoxyde nach folgendem Schema:  $2 C + WO = W + 2 CO$ . Hierbei scheidet sich das Wolfram nur als loses Pulver in der Nähe der Fäden ab. Nach mehrstündiger Behandlung sind die Fäden gänzlich kohlenstofffrei. Auch eine zweite Methode wurde von den Erfindern angegeben, nach welcher es möglich ist, den Kohlenstoff aus den Fäden restlos zu entfernen (D. R. P. 193221 vom 9. Februar 1906). Diese Methode erinnert sehr an den Formierungsprozeß des Osmiums und die Ver-

fahren der Auergesellschaft (D. R. P. 182683, 1905). Die nach dem Substitutionsverfahren dargestellten noch kohlenstoffhaltigen Wolframfäden werden einer oxydierenden Behandlung in einer wasserdampf-haltigen Atmosphäre unterworfen. Der Sauerstoff aus dem Wasserdampf oxydiert nach dem Vorgang  $C + H_2O = CO + H_2$  den Kohlenstoff aus dem auf etwa  $1190^{\circ}C$  erhitzten kohlenstoffhaltigen Wolframfaden heraus. Das Substitutionsverfahren gibt auch die Möglichkeit, Wolframfäden von ungleichförmigem Querschnitt zu egalisieren. Die Egalisierung wird an Fäden ausgeführt, aus welchen der Kohlenstoff bereits gänzlich entfernt wurde. Der Prozeß wird auch in einer Wolframoxychlorid- oder Wolframhexachloridatmosphäre ausgeführt, nur wird diesmal mehr Wasserstoff zugeführt, als beim Substitutionsprozeß der Fall war, da jetzt dem Wasserstoff allein die Rolle zufällt, das Oxychlorid bezw. Hexachlorid zu reduzieren. Der Faden von ungleichförmigem Querschnitt wird durch elektrischen Strom auf helle Rotglut erhitzt. Hierbei glühen die Stellen von geringerem Querschnitt heller und scheiden deshalb aus der umgebenden Atmosphäre mehr Wolfram aus als die dunkler glühenden, dickeren Partien. Infolgedessen wird nach kurzer Zeit der Querschnitt des Fadens vollkommen gleichmäßig. Der Reduktionsvorgang der Wolframoxychloride bezw. des Wolframhexachlorids spielt sich in folgender Weise ab:



Das Substitutionsverfahren wurde in der Form, wie soeben beschrieben, in der Technik praktisch kaum in größerem Maßstabe ausgeführt. Das Verfahren, mag es von noch so großem theoretischen Interesse sein, hat sich als zu umständlich und mit dem viel einfacheren Spritzverfahren als kaum konkurrenzfähig erwiesen. Wir sehen auch in der Folge, wie die Erfinder und Inhaber des Substitutionsverfahrens Patente anmelden, die immer mehr den Charakter des gewöhnlichen Wolframspritzverfahrens annehmen. Die Gesellschaften, welche nach dem Verfahren fabrizierten, haben auch Glühlampen in den Handel gebracht, deren Leuchtkörper röhrenförmige Gebilde waren. Solche Wolframfäden sind nach dem Substitutionsverfahren leicht herzustellen, indem man auf dem Träger aus Kohle einen Mantel aus Wolfram herstellt und nachträglich die Seele aus Kohle durch Oxydation vollständig entfernt. Solche röhrenförmige Leuchtkörper besaßen natürlich einen größeren elektrischen Widerstand als die gewöhnlichen massiven Wolframdrähte, und man konnte deshalb schon mit drei solchen hohlen Fäden eine 110 Volt-Lampe

konstruieren. Die hohlen Wolframfäden haben sich aber in der Praxis nicht bewährt, da die Wände der Fäden beim Brennen oft zusammenfielen, die Belastung der einzelnen Partien des Leuchtkörpers sehr ungleichmäßig wurde und schnell zur Zerstörung des Fadens führen mußte.

### **Die Wolframspritzverfahren.**

Die größte praktische Bedeutung für die Herstellung von Wolframglühkörpern hatten bis vor kurzem die Verfahren, welche man mit dem allgemeinen Namen Wolframspritzverfahren bezeichnen kann. Als Wolframspritzverfahren sind alle diejenigen Verfahren zu bezeichnen, bei welchen Wolfram oder Wolframverbindungen, mit den verschiedensten Bindemitteln zu einer Paste vereint, unter hohem Druck zu Fäden gepreßt werden, welche dann durch geeignete Nachbehandlung in Drähte aus reinem Wolfram umgewandelt werden. Das Wolfram wird den Pasten in Form von feinstem Pulver einverleibt. Die Wolframverbindungen müssen durch Wasserstoff zu Wolfram reduzierbar sein. Die Wahl der Wolframverbindungen an Stelle des reinen Wolframs wird im allgemeinen in der Weise getroffen, daß Verbindungen gewählt werden, welche sich zu klebenden, zähen und plastischen Massen gestalten lassen und somit die Anwendung eines separaten Bindemittels überflüssig machen. Als Bindemittel können die verschiedensten Substanzen verwendet werden. So können organische oder anorganische Klebstoffe oder plastische Massen, Kolloide und schließlich sogar Metallmischungen, welche bei bestimmten Temperaturen plastische Eigenschaften annehmen, als Bindemittel zur Anwendung gebracht werden. Die Wolframspritzverfahren kann man also einteilen: 1. Verfahren mit organischen Bindemitteln, 2. Verfahren mit anorganischen Bindemitteln, 3. Kolloidverfahren, 4. Amalgamverfahren.

#### **Verfahren mit organischen Bindemitteln.**

Zu dieser Gruppe zählen die wichtigsten und praktisch erfolgreichsten Patente. Man kann wohl behaupten, daß nach dem Spritzverfahren mit organischen Bindemitteln vor der Einführung des Wolframziehverfahrens der weitaus größte Teil aller Wolframlampen fabriziert wurde. Das Prinzip des Verfahrens wurde von dem identischen alten Osmiumpasteverfahren übernommen und nur für das Wolfram adaptiert. Deshalb hatten die Gesellschaften, welche früher die Osmiumlampe fabrizierten, die größten Erfolge zu verzeichnen. Die organischen Bindemittel haben vor den anorganischen

den Vorteil der großen Bindekraft, so daß der Zusatz geringster Mengen von Substanzen, wie Gummi, Tragant, Zucker, Kasein, Kollodium usw. genügt, um große Mengen Wolframpulver zu plastischen Massen zu vereinen. Das ganze Verfahren wird ungefähr auf folgende Weise ausgeführt: Ganz feinpulveriges und feingesiebtes Wolfram wird mit einer wässerigen Lösung eines oder mehrerer organischer Klebstoffe versetzt und mit diesen fein verührt. Die dünnflüssige Mischung wird unter ständigem Digerieren am Wasserbade eingedampft, bis eine sehr zähe, plastische Masse zurückbleibt. Diese Masse wird mit der Hand tüchtig durchknetet und der so erhaltene Klumpen so lange am Wasserbade getrocknet, bis die richtige Zähigkeit und Konsistenz erreicht ist. Durch lange Erfahrung vermag der Arbeiter solche Pasten mit großer Gleichmäßigkeit herzustellen. Die fertigen Pasten werden nun zu Fäden gepreßt. Zu diesem Zweck wird die Paste zwischen den Handflächen zu einem fingerdicken, walzenförmigen Gebilde gestaltet und in einen passenden, dickwandigen Stahlzylinder eingeführt. Der untere Teil des Zylinders ist durch eine Stahlfassung verschraubt, in deren Mitte sich eine Diamantdüse befindet. Von oben wird nun in den Stahlzylinder ein feingeschliffener und luftdicht passender Stahlstempel eingeführt und ganz langsam vermittelt einer starken Handpresse oder einer hydraulischen Presse heruntergedrückt. Eine Handfadenpresse, von der Firma Gebr. Köppe in Berlin fabriziert, stellt Fig. 17 dar. In der Abbildung sieht man auch den Preßzylinder samt Stempel und Mutter, in welcher sich die Preßdüse befindet. Fig. 18 zeigt eine durch das D. R. P. 212615 von Joh. Prigge in München geschützte Fadenpresse in verbesserter Form. Bei den gewöhnlichen Fadenpressen machten sich zwei Umstände besonders unangenehm bemerkbar. Der erste besteht in der raschen Abnutzung des Stempels und Preßzylinders, der zweite darin, daß die Preßmasse infolge des hohen Druckes in die feinsten Fugen eindringt und oft zwischen Düsenfassung und Zylinderboden in die Gewindgänge der Abschlußmutter gelangt, wodurch das Lösen derselben häufig unmöglich wird. Diese Übelstände werden durch Verwendung der Fadenpresse nach Prigge vollkommen vermieden. In den unteren Teil des Preßzylinders ist ein auswechselbarer, konischer Einsatz *C* aus glashartem Stahl eingepaßt. Die Düse *D* bzw. die Düsenfassung ist kugelförmig gestaltet und in die entsprechend geformte Abschlußfläche des Einsatzes *C* eingeschliffen. Durch Anziehen der Abschlußmutter wird bei dieser Anordnung eine vollständig sichere Abdichtung zwischen Einsatzboden und Düsenfassung

erreicht. — Unter dem hohen Druck, welcher sich hauptsächlich nach der Größe der Düsenöffnung richtet, spritzt aus der Düse ein weicher, jedoch genügend fester Faden hervor, welcher zickzackförmig auf hin und her geführten Pappen aufgefangen wird. Nun werden die Fäden auf den Pappscheiben belassen und in einem Ofen bei etwa  $150^{\circ}\text{C}$  getrocknet. Dadurch werden sie so hart und elastisch, daß sie sich bequem zu Bügeln zerschneiden und in Eisenschiffchen, ohne die Form zu verändern, zusammenlegen lassen. Die Eisenschiffchen werden nun in ein Eisenrohr eingeführt, durch welches Wasserstoff

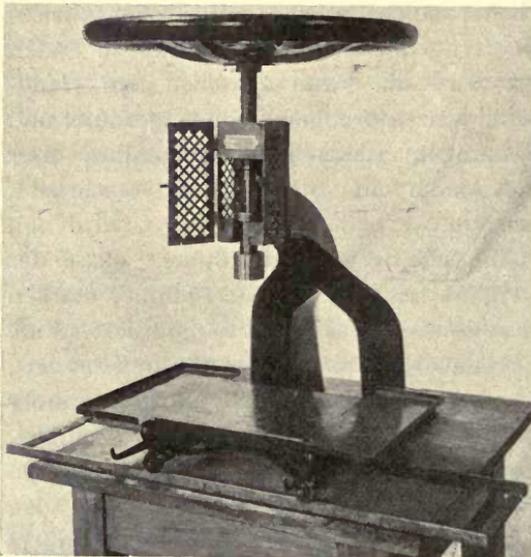


Fig. 17.

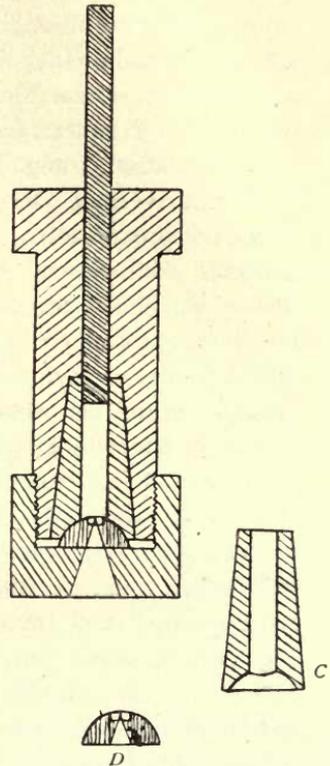


Fig. 18.

oder ein Gemisch von Wasserstoff und Stickstoff strömt. Das Eisenrohr wird mit Hilfe eines Gasgebläses zur Rotglut gebracht, wobei der größte Teil des in den Fäden enthaltenen Klebstoffes in Form von Teer und Wasserdampf entweicht. Es bleiben zum Schluß im Eisenschiffchen Fäden zurück, welche hauptsächlich aus Wolfram und nur zum geringen Teil aus Kohle bestehen. Die Kohle, welche von dem verkohlten Bindemittel herrührt, bewirkt eine recht beträchtliche Festigkeit der Fäden, so daß man mit diesen bei den nachfolgenden Operationen ohne besonderen Bruch handhaben kann. Die Fäden werden jetzt der Formierung unterworfen. Diese Operation ist besonders wichtig und interessant. Das Formieren bewirkt

die Überführung des kohlenstoffhaltigen Wolframfadens in einen Draht aus ganz reinem Wolfram. Zu diesem Zwecke wird der Rohfaden unter eine Glasglocke, den Formierzylinder, gebracht und vermittelst Klemmen an eine elektrische Stromquelle geschaltet. Das untere Ende des Fadenbügels wird mit einem passenden Gewicht beschwert, damit der Faden sich während des Formierprozesses nicht verbiegt, sondern schön gerade gestreckt wird. Der Formierzylinder wird von wasserdampfhaltigem Wasserstoff, dem zur Verdünnung größere Mengen Stickstoff beigemischt sind, durchströmt. Der Zusatz von Stickstoff ist aus dem Grunde vorteilhaft, weil dadurch erstens der Wasserstoffverbrauch geringer wird, außerdem große Stromersparnisse zu erzielen sind, da der reine Wasserstoff ein vortrefflicher Wärmeleiter ist und als solcher den glühenden Faden derart abkühlt, daß ein verhältnismäßig viel größerer Strom als im Stickstoff-Wasserstoffstrom verwendet werden muß, um den Faden auf die gleiche Temperatur zu erhitzen. Ist der Formierzylinder genügend mit Formiergas (so wird nämlich das Gasmisch genannt) gespült, so wird der Faden unter Strom gesetzt und zuerst auf helle Rotglut, etwa  $1100^{\circ}\text{C}$ , gebracht. Hierbei spielt sich ein Oxydationsvorgang ab, indem der im Rohfaden enthaltene Kohlenstoff auf Kosten des im Wasserdampf vorhandenen Sauerstoffs zu Kohlenoxyd verbrennt:  $C + H_2O = CO + H_2$ . Das Wolfram wird vom Wasserdampf bei diesen Temperaturen infolge der Gegenwart von Wasserstoff nicht angegriffen. In kurzer Zeit wird der gesamte Kohlenstoff weg-oxydiert und es verbleibt ein mattgrauer Wolframdraht von metallschwammartiger Struktur zurück. Die Zeitdauer, welche zur vollständigen Entfernung des Kohlenstoffs notwendig ist, richtet sich nach der Dicke des zu formierenden Fadens und dem Partialdruck des Wasserdampfes. Bei dicken Fäden ist es deshalb vorteilhaft, zur Beschleunigung des Formiervorganges das Formiergas hinreichend mit Wasserdampf zu sättigen, etwa dadurch, daß man vor dem Eintritt in den Formierzylinder das Formiergas durch ein mit Wasser gefülltes Gefäß streichen läßt. Dieselbe Wirkung wie der Wasserdampf hat auch ein entsprechender Zusatz von Kohlensäure, welche mit dem Kohlenstoff des Rohfadens auch Kohlenoxyd bilden kann:  $CO_2 + C = 2CO$ . Bei dünneren Fäden, wie solche hauptsächlich für Glühlampen in Betracht kommen, ist ein besonderer Zusatz von Wasserdampf oder Kohlensäure zum Formiergas nicht erforderlich. Dafür genügt schon die geringe Menge von Sauerstoff oder Wasserdampf, welche in jedem Formiergas als Verunreinigung enthalten ist. So kommt es, daß viele Firmen die Bedeutung des Wasserdampf-

formierprozesses, welcher der Auergesellschaft durch Patente geschützt war, unterschätzt haben, indem sie glaubten, daß die Entfernung des Kohlenstoffs auch bei der Formierung der Rohfäden in völlig sauerstoff- und wasserdampffreien Atmosphären gelingt. Sie glaubten, daß der Kohlenstoff mit dem Wasserdampf des Formiergases sich zu Methan vereinigt —  $C + 2 H_2 \rightarrow CH_4$  — und daß auch auf diese Weise die Entfernung des Kohlenstoffs aus dem Rohfaden gelingt. Daß dies praktisch nicht der Fall sein kann, beweist die Tatsache, daß bei Gegenwart der geringsten Spuren von Methan im Formiergas gerade der entgegengesetzte Vorgang stattfindet, d. h. das Methan zerfällt in Wasserstoff und Kohlenstoff, welcher mit dem Wolfram ein Karbid bildet. Freilich ist es auch prinzipiell möglich, da es sich beim Zerfall des Methans offenbar um ein reversibles Gleichgewicht handelt, daß auch der entgegengesetzte Vorgang, wenn auch in verschwindendem Maße, stattfindet. Gerade in der allerletzten Zeit wurden von Wl. Ipatiew („Journ. f. prakt. Chemie“ 1913, Bd. 87, S. 479 bis 487) Bedingungen aufgefunden, bei welchen die Synthese des Methans gelingt. Bei hohen Drucken findet die Synthese des Methans aus Kohle und Wasserstoff bei Gegenwart von reduziertem Nickel als Katalysator bei 510 bis 520° C statt. Daß auch Wolfram ähnliche katalytische Wirkungen ausüben könnte, scheint sehr wahrscheinlich. Demnach dürfte bei den eben erwähnten Bedingungen eine Formierung mit reinem Wasserstoff als möglich zu betrachten sein. Bei den gewöhnlichen Bedingungen der Formierung geht die Bildung des Methans jedoch in derart verschwindend geringem Maße vor sich, daß an eine praktische Ausübung eines solchen Verfahrens gar nicht zu denken wäre. In den großen Prozessen, welche die Auergesellschaft mit den Firmen führte, ist es ihr auch gelungen, nachzuweisen, daß in einem völlig von Wasserdampf und Sauerstoff befreiten Formiergas die Entfernung des Kohlenstoffs aus dem Rohfaden bei der in Betracht kommenden Temperatur von etwa 1100° C und darüber nicht gelingt. Bei viel höheren Temperaturen tritt auch ein anderer Vorgang ein, welcher auch zur Entfernung des Kohlenstoffs aus dem Rohfaden führt, die Zyanbildung. Bei der höchsten Weißglut, 1900 bis 2000° C, verbindet sich nämlich der Kohlenstoff mit dem im Formiergas enthaltenen Stickstoff zu Dizyan:  $2 C + N_2 = (CN)_2$ , welches Gas weggeführt wird. Auch dieser Vorgang wurde der Auergesellschaft (D. R. P. 194653 vom 12. August 1905) für die Entfernung des Kohlenstoffs aus dem Rohfaden geschützt. Ist durch den Formierprozeß der gesamte Kohlenstoff entfernt, so wird nunmehr der Wolframfaden stufenweise

auf die höchste Glut gebracht. Der Faden sintert dabei sehr zusammen und wird wesentlich kürzer. Die endgültige Formiertemperatur liegt viel höher als die Temperatur, welcher der Wolframdraht in den Glühlampen selbst ausgesetzt wird. Dies ist deshalb notwendig, damit der Faden beim Brennen in der Lampe sich nicht weiter verändert und dadurch etwa die Lebensdauer der Lampe ungünstig beeinflusst. Der fertig formierte Wolframdraht besitzt eine glänzende, metallische Oberfläche und zeigt alle Eigenschaften der reinen Metalle.

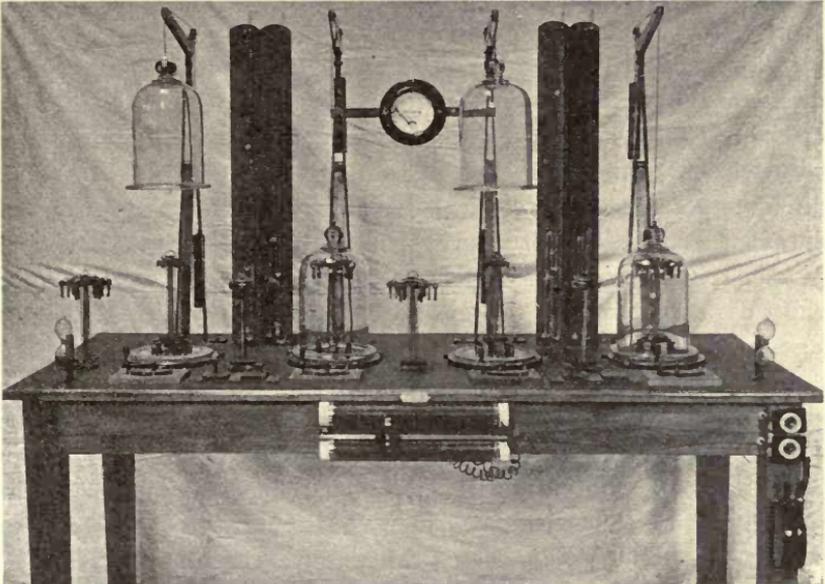


Fig. 19. Formierapparat für Wolframfäden.

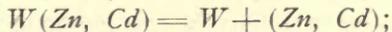
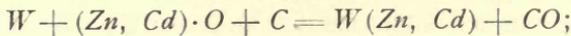
Er ist aber sehr spröde und brüchig und wird nur bei dunkler Rotglut ganz weich und biegsam. Die Formierdauer beträgt bei gewöhnlichen Fäden etwa 3 Minuten. Einen Formierapparat, in welchem einige Fäden auf einmal formiert werden können, zeigt Fig. 19 (Fabrikat der Firma Gebr. Köppe in Berlin). Durch einen besonderen Kunstgriff gelingt es auch beim Formieren, aus den gewöhnlichen vollen Rohfäden hohle, röhrenförmige Wolframdrähte herzustellen (D. R. P. 193292, 1906). Zu diesem Zwecke wird der Faden nicht allmählich stufenweise, sondern möglichst rasch auf die höchste Formierglut gebracht. Bei dieser Behandlung entsteht an der Oberfläche des Rohfadens sehr schnell ein starrer Mantel aus Wolframmetall, welcher nicht mehr in gleichem Maße mit dem noch

unveränderten Innern weiter zusammenschrumpfen kann. Dadurch entsteht im Innern des Fadens, seiner ganzen Länge nach, ein Hohlraum. Praktische Bedeutung haben die hohlen Wolframfäden, wie vorhin erwähnt, nicht erlangt. Von einigem Interesse ist noch die Tatsache, daß für die Formierung ganz dünner Drähte nur Gleichstrom verwendet werden kann (Deutsche Anmeldung D. 16373, VIII, vom 21. Oktober 1905). Bei der Formierung solcher Fäden mit Wechselstrom macht sich der Einfluß des Erdmagnetismus auf die leichten und vom starken Strom durchflossenen Gebilde unangenehm bemerkbar, indem durch diesen die Fäden oft verdreht und verzogen werden.

Alle anderen Methoden, welche sich auch organischer Bindemittel zur Herstellung der Wolframfäden bedienen, versuchen auf verschiedenen Wegen der Notwendigkeit der Wasserdampfformierung auszuweichen. Zu diesem Zweck werden vielfach organische Bindemittel vorgeschlagen, welche bei der trockenen Destillation der gepreßten Fäden, ohne zu verkohlen, sich verflüchtigen und einen nur aus reinem Wolfram bestehenden Faden zurücklassen. Hierher gehört das Patent von Dr. Majert (D. R. P. 233945), welcher Wolframsäureglyzerinester verwendet, und die Patente von Johann Lux (D. R. P. 194171), welcher die Verwendung von Kampfer oder Pinenchlorhydrat als Bindemittel schützen ließ. Zu erwähnen ist hier noch das Verfahren von Dr. Aládar Pacz (D. R. P. 245190 vom 12. Juni 1909). Hiernach wird eine Ammoniumwolframatlösung mit Salzsäure und Gallusgerbsäure gefällt. Der entstehende schwarzblaue Niederschlag, welcher im wesentlichen die Verbindung  $H_6W_2C_9O_3$  darstellt, läßt sich sehr gut durch Diamantdüsen zu Fäden pressen. Beim Glühen der Fäden zerfällt die Verbindung unter Entwicklung von Kohlenoxyd und Benzoldampf und läßt reines Wolframmetall zurück. Der Zerfall geht nach folgendem Schema vor sich:  $H_6W_2C_9O_3 = W_2 + C_6H_6 + 3CO$ . — Der Vorteil der Erfindung soll auch darin bestehen, daß die nach diesem Vorgang hergestellten Fäden unter starker Schrumpfung zusammensintern (Schrumpfung etwa 75 % der benutzten Düsengröße), wodurch sich dieses Verfahren zur Herstellung sehr dünner Drähte besonders gut eignet.

Nach anderen Verfahren wieder wird der Entkohlungsprozeß mittelst der Wasserdampfformierung dadurch zu vermeiden gesucht, daß der mit organischen Bindemitteln hergestellten Wolframpaste Verbindungen zugesetzt werden, welche mit der Kohle beim Glühen in Wechselwirkung treten und diese in Form flüchtiger Verbindungen aus dem Wolframfaden gänzlich entfernen können. So wird z. B. der

Wolframpaste Wolframtrioxyd oder Wolframdioxyd in solcher Menge zugesetzt, daß diese genügt, um den ganzen Kohlenstoff als  $CO$  bzw.  $CS_2$  beim Formierprozeß zu entfernen. Gewöhnlich wird sogar ein kleiner Überschuß von diesen Verbindungen ( $WO_3$ ,  $WS_2$ ) zugesetzt, da der zurückgebliebene Rest leicht durch den Wasserstoff zu Wolfram reduziert werden kann (Dr. Just, D. R. P. 182766 vom 1. November 1904). Hierher gehören auch die Patente von Johann Lux (D. R. P. 193920 und 194894), nach welchen die Entkohlung vermittelst der Oxyde oder Sulfide leichtflüchtiger Metalle bewirkt wird. Der Spritzmasse wird hier Zinkoxyd oder Kadmiumoxyd bzw. die entsprechenden Sulfide dieser Metalle zugesetzt. Der Sauerstoff bzw. Schwefel dieser Metalle tritt mit dem Kohlenstoff in Wechselwirkung unter Bildung flüchtiger Verbindungen, während das gleichzeitig entstandene Zink- bzw. Kadmiummetall bei dem Formierprozeß aus dem Faden restlos herausdestilliert. Der Vorgang ist in chemischen Formeln ausgedrückt der folgende:



Das Verfahren soll noch den Vorteil besitzen, daß man infolge der starken Schwindung aus verhältnismäßig dicken Rohfäden nach der Beendigung der Formierung ganz dünne Wolframdrähte erhält.

Eine Reihe anderer Patente gibt Methoden an, nach welchen die Entkohlung der Wolframfäden durch Anwendung entsprechender Formiergase bewirkt werden kann. Ein solches Verfahren hat sich z. B. die Wolframlampen-Akt.-Ges. (D. R. P. 199040) schützen lassen. Das Verfahren beruht darauf, daß der Formierprozeß in einer Atmosphäre sulfurierender und reduzierender Gase ausgeführt wird. So wird z. B. ein kohlenstoffhaltiger Wolframrohfa den in einer Gasatmosphäre erhitzt, in welcher neben dem Wasserstoff geringe Mengen von Schwefelwasserstoff sich befinden. Der Schwefelwasserstoff zerfällt infolge der Glut des formierten Fadens in Wasserstoff und Schwefel, welcher letzterer sich mit dem Kohlenstoff zu dem flüchtigen Schwefelkohlenstoff vereinigt. Wohl wird bei diesem Prozeß auch das Wolfram zum Teil zu Schwefelwolfram umgewandelt, jedoch wird dieses durch den gleichzeitig vorhandenen Wasserstoff wieder zu Metall reduziert. Ein anderes Verfahren dieser Art ist das Verfahren von Dr. Hollefreund (D. R. P. 210326 vom 26. Juni 1906). Das Patent schützt dem Erfinder die Anwendung des in Form von Nitriden gebundenen Stickstoffs. Ein Nitrid, insbesondere das Phospham  $PN_2H$ , wird der Spritzmasse in entsprechender Menge

zugesetzt. Die glühenden Rohfäden zersetzen bei der Formierung das Phospham in  $N_2$ ,  $P$  und  $H_2$ . Der Stickstoff verbindet sich mit dem Kohlenstoff zu Zyan, der Phosphor entfernt alle Spuren von Sauerstoff, und der Wasserstoff bewirkt die noch eventuell erforderliche Reduktion.

#### Verfahren mit anorganischen Bindemitteln.

Diese Verfahren haben den Vorteil, daß der Kohlenstoff hierbei gänzlich vermieden wird, wodurch man sich die Schwierigkeit der Entkohlung erspart. Als geeignete Bindemittel, welche mit Wolframpulver plastische Massen liefern, wurde z. B. von der Wolframlampen-Akt.-Ges. (D. R. P. 185585) Schwefel, von Wilhelm Heinrich (D. R. P. 214493) Schwefelphosphorverbindungen, von Dr. Joh. Schilling (D. R. P. 223498) Schwefelammonium und (D. R. P. 236554) Ammoniak, von Dr. Fritz Eisner (engl. Pat. 17469, 1910) Hydrazin vorgeschlagen. Bei diesen Verfahren, insbesondere dem Verfahren von Schilling, ist es notwendig, ein besonders feines, fast kolloidales Wolframpulver zu verwenden, wenn genügend plastische Massen erzielt werden sollen. Interesse verdient noch das Verfahren von Johann Lux (D. R. P. 200938 vom 16. Juni 1905), welcher als Bindemittel kolloidale Wolframsäure oder Ammoniumwolframat verwendet. Diese Substanzen bilden mit wenig Wasser klebrige, zähe, gummiähnliche Flüssigkeiten, welche, mit feinem Wolframpulver vermischt, eine plastische Masse ergeben, die nach gewöhnlicher Art zu Fäden gespritzt werden kann. Zur Umwandlung der Rohfäden in Fäden aus reinem Wolfram ist es nur erforderlich, dieselben bei Gegenwart reduzierender Gase zu formieren. In zahlreichen Patenten läßt sich die Firma Siemens & Halske in Berlin die Verwendung von plastischen anorganischen Wolframverbindungen, hauptsächlich Ammoniumwolframate, als Pastematerial für Wolframfäden schützen. Wir sehen, daß diese Patente sich kaum wesentlich von dem oben beschriebenen Patent von J. Lux unterscheiden können. Dr. Leiser hat in seinem Buch: „Das Wolfram“, S. 154, den Wert dieser Patente zur Genüge charakterisiert.

#### Wolframkolloidverfahren.

Wir gehen nun zur Besprechung des Wolframspritzverfahrens nach Dr. Hans Kužel (D. R. P. 194348 vom 25. Juli 1905; D. R. P. 206911 vom 28. Juni 1908; D. R. P. 208599 vom 16. Oktober 1908) über. Dr. Kužel benutzt in seinem Verfahren kolloidales Wolfram zur Herstellung von homogenen plastischen Massen, welche sich zu

Fäden spritzen lassen. Das kolloidale Wolfram stellt der Erfinder her, indem er feinstes Wolframpulver durch abwechselnde Behandlung mit Säuren und Alkalien derart anätzt, daß sich das Metall schließlich in reinstem destillierten Wasser löst. Durch Zusatz von beliebigen Elektrolyten wird aus dieser kolloidalen Lösung des Wolframs das gelatinöse Wolframgel ausgefällt. Das Wolframgel besitzt eine große Klebekraft, so daß man diesem große Mengen von gewöhnlichem kristallinen Wolframpulver zusetzen und beide zu einer homogenen, plastischen Masse gestalten kann. Diese Masse, welche nur aus Wolframmetall und kolloidal gebundenem Wasser besteht, läßt sich zu Fäden spritzen, welche durch einfaches Erhitzen im Vakuum oder in einer inerten Atmosphäre in Fäden aus reinem Wolfram umgewandelt werden können. Die Erhitzung der getrockneten Wolframfäden mittelst des elektrischen Stromes wird durch die Tatsache erschwert, daß die Fäden den elektrischen Strom fast gar nicht leiten. Diese Erscheinung wurde bereits früher auch bei anderen kolloidalen Metallen beobachtet. Damit nun die Fäden elektrisch leitend werden, werden dieselben auf etwa  $80^{\circ}\text{C}$  erhitzt, bei welcher Temperatur sich eine geringe Leitfähigkeit der Fäden einstellt. Nun ist es möglich, einen wenn auch nur schwachen Strom durchzuschicken. Dadurch gerät der Faden in Glut, leitet den Strom immer besser und kann schließlich bis auf hellste Weißglut erhitzt werden. Hierbei sintert der Faden sehr stark, sowohl seiner Länge nach, wie im Querschnitt, und bekommt das Aussehen eines glänzenden Metalldrahtes. Es gelingt auch auf anderen Wegen, den Kolloidfaden leitend zu machen. Man kann z. B. durch Anwendung eines Stromes, dessen Spannung wesentlich höher ist als die gewöhnlich für die Formierung benutzte Spannung — mit etwa 1000 Volt — einen Kolloidfaden zur Rotglut bringen und dadurch auch für Ströme von gewöhnlicher Spannung leitend machen. Auch durch sehr hohes Erhitzen der Rohfäden in einem elektrischen Ofen gelingt es, diese derart zu sintern, daß sie für den elektrischen Strom leitend werden. Da der nach dem Kolloidverfahren hergestellte Rohfaden außer Wolfram nur noch Wasser enthält, so genügt eine Erhitzung allein, um den Faden in einen Draht aus reinem Wolfram zu überführen. Es ist deshalb prinzipiell möglich, die ganze Formierung im Vakuum auszuführen. Vorteilhafter und einfacher ist es jedoch, die Formierung in einer reduzierenden Atmosphäre durchzuführen, da in dem Rohfaden immer noch beträchtliche Mengen von Oxyden enthalten sind, wie es bei kolloidalen Metallen fast immer der Fall ist, welche alsdann zu Wolfram redu-

ziert werden. Die Anwendung reduzierender Gasatmosphären zur Formierung der Kolloidfäden erscheint insbesondere da notwendig, wo ein absichtlicher Zusatz von kolloidalen Oxyden des Wolframs zur Paste, wie durch besondere Modifikation des Kolloidverfahrens vorgesehen (Zusatzpatent 205581 vom 4. August 1905), erfolgt ist. Den nach dem Kolloidverfahren hergestellten Wolframdrähten wird, wie es sich aus dem Verfahren von selbst ergibt, die vollständige Kohlenstofffreiheit als besonderer Vorteil nachgerühmt. Es besteht aber kein Zweifel, daß auch die nach dem Verfahren mit organischen Bindemitteln hergestellten Wolframdrähte ebenso gänzlich frei von Kohlenstoff hergestellt werden können. Als besonderer Nachteil des Wolframkolloidverfahrens kann hingegen diese Tatsache hervor gehoben werden, daß die nach diesem Verfahren hergestellten Wolframfäden häufig im Innern Hohlräume enthalten, welche deren Qualität und Lebensdauer ungünstig beeinflussen. Außerdem stellen sich beim Pressen der Fäden aus der kolloidalen Wolframpaste durch die Diamantdüsen oft sehr beträchtliche Schwierigkeiten ein, die zum Teil auf die Entmischung der Kolloide bei dem hohen, beim Pressen angewendeten Druck zurückzuführen sind, welche Schwierigkeiten die Fabrikation nach diesem Verfahren im großen außerordentlich erschweren. Tatsächlich hatten die Firmen, welche nach diesem, an sich höchst interessanten und originellen Verfahren gearbeitet haben, fast sämtlich keinen günstigen finanziellen Erfolg zu verzeichnen.

#### Das Amalgamverfahren.

Zu den Wolframspritzverfahren ist schließlich das sogenannte Amalgamverfahren zu zählen. Der Erfinder des Amalgamverfahrens ist W. D. Coolidge in Schenectady. Nach seinem Verfahren (engl. Pat. 23336, 1906) wird ein Amalgam, welches aus Quecksilber, Kadmium und Wismut besteht, als Bindemittel für das Wolframpulver verwendet. Das Amalgam stellt bei gewöhnlicher Temperatur ein festes, duktiles, silberweißes Metall vor, welches bei 100 bis 120<sup>0</sup>C zu einer plastischen Masse wird. Zur Herstellung der Wolframamalgampaste wird das Amalgam in einem auf etwa 120<sup>0</sup>C erhitzten Mörser zum Schmelzen gebracht und diesem ungefähr die gleiche Menge feingesiebten Wolframpulvers unter ständigem Umrühren mit dem Pistill portionenweise zugesetzt. Das Amalgam wird mit dem Wolframpulver so lange verrieben, bis eine vollständig homogene Durchmischung zu einer silberweißen Paste erzielt ist. Diese Paste kann man nun erkalten lassen und nach Bedarf zum Pressen der Fäden verwenden. Das Pressen geschieht in ähnlicher Weise wie

bei den anderen Spritzverfahren durch eine Diamantdüse, nur wird in diesem Fall sowohl die Preßform wie Düse durch eine geeignete Vorrichtung auf etwa  $100^{\circ}\text{C}$  erhitzt. Aus der erhitzten Preßform spritzt unter dem Druck der hydraulischen Presse ein silberglänzender Wolframamalgamfaden hervor und erstarrt sofort zu einem schönen, metallischen, biegsamen Draht. Derselbe wird zu bügelförmigen Gebilden gestaltet und nun einer Behandlung unterworfen, durch welche die Entfernung des Quecksilbers, Kadmiums und Wismuts bewirkt wird. Zu diesem Zweck werden die bügelförmigen Fäden in einem Schiffchen in ein Glasrohr eingeführt und im Vakuum auf etwa  $350^{\circ}\text{C}$  erhitzt. Hierbei destilliert aus dem Faden das gesamte Quecksilber mit dem größten Teil des Kadmiums heraus und es bleiben graue, poröse Wolframfäden zurück, welche nur etwas Wismut und ganz geringe Mengen Kadmium enthalten. Die Fäden werden hierauf in einem Eisenrohr, welches durch ein Gebläse auf helle Rotglut erhitzt wird, im Wasserstoffstrom längere Zeit behandelt, wodurch der größte Teil der Fremdmetalle verdampft und die Wolframfäden selbst eine wesentliche Verfestigung erfahren. Jetzt folgt das eigentliche Formieren der Fäden, welches ähnlich verläuft wie das Formieren der nach anderen Spritzverfahren hergestellten Rohfäden. Die Fäden werden im Vakuum, oder einfacher in einer Atmosphäre inerte oder reduzierender Gase durch elektrischen Strom auf hohe Weißglut erhitzt. Die letzten Spuren der in den Fäden noch enthaltenen Fremdmetalle oder sonstiger Verunreinigungen verdampfen dabei, es tritt eine starke Sinterung ein, bis schließlich ein fester, glänzender Draht aus ganz reinem Wolfram resultiert. Das Amalgamverfahren wurde eine Zeitlang von der General Electric Company in Amerika und der British Thomson Houston Co. in London ausgeübt. Das Verfahren scheint jedoch nach kurzer Zeit durch das gewöhnliche Pasteverfahren mit organischen Bindemitteln verdrängt worden zu sein.

Die Wolframfäden, welche nach den verschiedensten Spritzverfahren hergestellt wurden, waren trotz der großen chemischen Reinheit des Metalls sehr spröde und brüchig. Wollte man die Form der fertigen Wolframdrähte verändern, so machte man sich dafür die Eigenschaft der Fäden, in der Wärme schon bei etwa  $500^{\circ}\text{C}$  biegsam zu werden, zunutze.

In neuester Zeit ist es gelungen, bei gewöhnlichen Temperaturen biegsame und duktile Wolframdrähte nach dem gewöhnlichen Wolframspritzverfahren herzustellen (Vereinigte Glühlampen- und Elektrizitäts-Akt.-Ges. in Ujpest. Ung. Patentanmeldung, Grundzahl:

J. 1409 vom 8. März 1912). Die Erfinderin hat die Beobachtung gemacht, daß durch Zusatz von Thoriumdioxyd zur gewöhnlichen Wolframpaste beim Einhalten gewisser Vorsichtsmaßregeln sich ganz weiche und biegsame Drähte, welche im wesentlichen aus Wolfram bestehen, nach dem gewöhnlichen Spritzverfahren herstellen lassen. Bei diesem Verfahren ist vor allem die äußerst feine und gleichmäßige Verteilung der beiden Komponenten — Wolfram, Thoriumdioxyd — in der Paste von größter Wichtigkeit. Zu diesem Zweck wird Wolframsäure mit der Lösung der entsprechenden Menge Thoriumnitrat (etwa 2 bis 5 Teile Thoriumdioxyd auf 100 Teile Wolframpulver) gut verrührt und so lange unter ständigem Rühren am Wasserbade erhitzt, bis die breiige Masse ganz trocken wird. Hierauf wird die Masse pulverisiert und bei 300 bis 400 ° C zur vollständigen Zersetzung des Thoriumnitrats erhitzt. Nun wird das Wolframtrioxyd-Thoriumdioxypulver in Wasserstoff in gewöhnlicher Weise reduziert. Die Erfinderin nimmt an, daß schon hierbei, also bei 1000 ° C, eine teilweise Reduktion des feinverteilten Thoriumdioxys vor sich geht, was sehr wenig glaubhaft erscheint. Das reduzierte Pulver wird zu einer Paste mit einem gewöhnlichen organischen Bindemittel verarbeitet und die daraus gepreßten Fäden in gewöhnlicher Weise karbonisiert und entkohlt. Nun folgt der wichtige Prozeß des Sinterns dieser Fäden. Die Sinterungstemperatur wird so weit erhöht, als es der Faden ohne zu schmelzen überhaupt verträgt. Die Atmosphäre, in welcher die Sinterung ausgeführt wird, besteht aus vollkommen trockenem, sauerstofffreiem Wasserstoff. Wird nun die Sinterung unter solchen Verhältnissen genügend lange fortgesetzt, so bekommt man schließlich einen Wolframdraht, der sich auch bei Zimmertemperatur wie ein weicher Kupferdraht biegen läßt. Dieser Effekt ist sehr auffallend, da bisher nach dem Pasteverfahren niemals duktile Wolframdrähte hergestellt werden konnten. Als Erklärung für diese merkwürdige Erscheinung gibt die Erfinderin an, daß das Thoriumdioxyd bei den außerordentlich hohen Sinterungstemperaturen in Gegenwart von Wolfram nach folgender Gleichung reduziert wird:  $ThO_2 + W = Th + WO_2$ . Das entstandene Wolframdioxyd wird durch Wasserstoff wieder zu Metall reduziert, während sich das gebildete Thoriummetall mit dem Wolfram legiert. Die Erfinderin hat auch beobachtet, daß der Zusatz sehr geringer Mengen von Halogensalzen, wie  $MgCl_2$ ,  $ZnCl_2$ ,  $AlCl_3$ , die Duktilisierung nach dem beschriebenen Thoriumdioxydverfahren sehr begünstigt. Nach Ansicht der Erfinderin ist es die nach dem eben geschilderten Verfahren hergestellte Wolframthoriumlegierung, welche die hervor-

ragende Duktilität besitzt. Dem Verfasser scheint der erzielte Effekt weniger auf die Entstehung einer duktilen Legierung, als auf die durch die speziellen Bedingungen des Verfahrens erzielte vollständige Reduktion des Wolframmetalls zurückzuführen zu sein. Sowohl die hohe Sinterungstemperatur, welche den Sauerstoffdampfdruck der Wolframoxyde erhöht, als auch die Anwendung eines möglichst von Sauerstoff befreiten Reduktionsgases sprechen dafür, daß eine ausgezeichnete Reduktion unter solchen Bedingungen zu erwarten wäre. Sehr viele Tatsachen lassen nun die Vermutung zu, daß wirklich vollkommen reduziertes Wolfram ein duktiles Metall darstellt. Die Annahme hingegen, daß das Thoriumdioxyd sich bei dem beschriebenen Verfahren vollkommen zu Metall reduzieren läßt, klingt sehr unwahrscheinlich. Viel eher dürfte das Thoriumdioxyd die Rolle eines vermittelnden Reduktionskatalysators für die niederen Wolframoxyde spielen.

Gegen die Annahme der Bildung einer Wolframthoriumlegierung kann man noch einen sehr ernsten Einwand erheben. Bekanntlich ist das Thoriummetall verhältnismäßig leicht schmelzbar (Schmelzpunkt etwa  $1750^{\circ}\text{C}$ ). Somit müßte auch das Thoriummetall beim Brennen eines 2 bis 5 % Thorium enthaltenden Wolframdrahtes mit Leichtigkeit herausdestillieren und in kurzer Zeit eine intensive Schwärzung der Glühlampe verursachen. Daß dies aber nicht der Fall ist, scheint dem Verfasser der beste Beweis dafür zu sein, daß das Thorium in den nach dem Thoriumdioxydverfahren hergestellten Wolframdrähten nicht als Metall, sondern als das viel weniger flüchtige, farblose Thoriumdioxyd enthalten ist.

Ist die Ursache des nach dem Verfahren der Vereinigten Elektrizitäts-Akt.-Ges. erzielbaren Effektes noch nicht als ganz sicher gestellt zu betrachten, so ist die Erzielung des Effektes selbst eine feststehende und sehr wichtige Tatsache. Das neue Verfahren kann dem besten bisher bekannten Duktilisierungsverfahren des Wolframs auf mechanischem Wege würdig an die Seite gestellt werden. In vieler Hinsicht ist sogar das nach dem eben beschriebenen Verfahren dargestellte Material besser als das auf anderem Wege gewonnene duktile Wolfram. Vor allem bleibt der nach dem Thoriumdioxydverfahren hergestellte Wolframdraht auch nach jeder noch so hohen Erhitzung vollkommen duktil, während die nach dem Ziehverfahren hergestellten Wolframdrähte durch hohe Erhitzung ihre Duktilität zum größten Teil verlieren. Die Gegenwart von Thoriumdioxyd in dem Leuchtkörper verhindert auch das Auftreten des sogen. Wechselstromeffektes, wie später berichtet werden soll. Der einzige Nachteil,

welcher sich bei der Verwendung der nach dem Thoriumdioxidverfahren hergestellten Wolframdrähte ergibt, ist die Tatsache, daß solche Wolframdrähte nur mit der größten Vorsicht sich bei Glühlampen für hohe Spannungen verwenden lassen.

Den Einfluß eines Zusatzes von Thoriumdioxid oder Oxyden anderer Erdalkalien und seltenen Erden auf die Duktilität des Wolframs hat schon früher die Westinghouse Metal Filament Lamp Co. Ltd. in London erkannt und in Patenten geschützt (franz. Pat. 450762 vom 19. Dezember 1902; Prior. der österr. Anm. vom 20. Dezember 1911). Die Neuheit und Patentfähigkeit der Erfindung der Vereinigten Elektrizitäts-Akt.-Ges. muß deshalb sehr stark bezweifelt werden. Das Thoriumdioxidverfahren wird gegenwärtig von vielen Fabriken, welche das Wolframziehverfahren nicht ausüben dürfen, ausgeübt.

Die Fabrikation der Wolframdrähte nach dem Spritzverfahren war auch bei Anwendung der besten und einfachsten Verfahren recht umständlich. Mußte man doch jeden Fadenbügel gesondert formieren, eine Operation, die mindestens 2 bis 3 Minuten erforderte. Da die größten Fabriken täglich fast  $\frac{1}{2}$  Million solcher Fäden herstellen mußten, kann man sich leicht vorstellen, welchen Umfang die Formierstationen in den Fabriken annehmen mußten und welche Betriebskosten sie verursachten. Die großen Fabriken wandten deshalb frühzeitig ihre Aufmerksamkeit dem Problem zu, die Formierung auf automatischem Wege durchzuführen. Dr. Fritz Blau hat sich in dem V. St. Pat. 985502 vom 28. Februar 1911 einen Automaten zur Formierung der Wolframdrähte geschützt. Die Westinghouse Metal Filament Lamp Co. Ltd. hat in dem D. R. P. 236711 vom 27. März 1910 einen sehr praktischen Apparat zum kontinuierlichen automatischen Formieren von Wolframdraht angegeben. Der Automat funktioniert sehr gut und ist auch heute bei einigen großen Firmen in Gebrauch. Die schematischen Zeichnungen (Fig. 20) zeigen die Konstruktion des Westinghouseautomaten zur kontinuierlichen Formierung. Die Wolframpaste wird aus dem Preßzylinder 1 zu einem Faden gespritzt und gelangt in einen umgekehrten trichterförmigen Raum 4, in welchem der Rohfaden vermittelt eines Brenners 5 getrocknet wird. Der Faden gelangt sodann in ein trichterförmiges Gebilde 6, welches erlaubt, daß dieser nach Bedarf in Spiralen aufgestapelt wird, ohne gegenseitige Verschlingung der einzelnen Windungen. Die sogen. Kanne 6 führt den Faden weiter in den Formierapparat, welcher sich in der Kammer 8 befindet, die mit Formiergas gespült wird. Der Eintritt für den Faden in die Formier-

kammer befindet sich bei 7. 10 stellt eine Heizspirale vor, welche das Karbonisieren des Fadens bewirken soll, während 13 bis 19 die elektrischen Kontakte darstellen, welche in entsprechendem Abstand voneinander auf nichtleitenden Stäben befestigt sind (12, von 3 u. 4) und feine Durchlaßöffnungen für den Faden, welche sich in einer

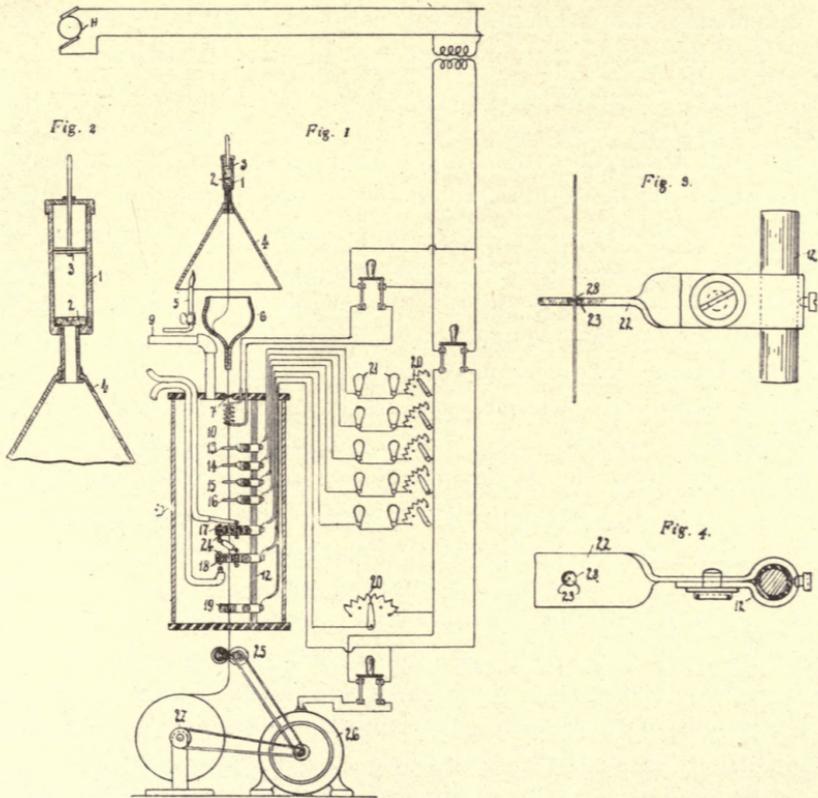


Fig. 20.

geraden Linie befinden, besitzen. Die Kontakte sind mit der Stromquelle 11 in der Weise verbunden, daß die Regulierung des den zwischen den benachbarten Kontakten befindlichen Teilen des Fadens zuzuführenden Stromes, sowie des Gesamtstromes ohne weiteres gelingt. Jeder Kontakt besteht aus einem aus Kupfer hergestellten Arm 22, in welchem sich die Oeffnung 28 befindet. In dieser Öffnung liegt ein Quecksilbertropfen 23, welcher nur durch Kapillarkraft sich an der Öffnung festhält. Der Faden, welcher die mit Quecksilber gefüllten Öffnungen passiert, erhält dadurch einen sehr guten, sicheren Kontakt. Der durch den Faden zur Formierung desselben

durchgeschickte Strom wird so bemessen, daß die Glut des Fadens beim Passieren der Kontakte vom obersten zum untersten allmählich steigt und bei dem letzten Kontakt 19 die höchste Formierglut erreicht. Die Kontakte 17, 18, 19, welche sich sonst durch die hohe Glut des formierten Drahtes beträchtlich erwärmen würden, werden durch entsprechende Kühlschlangen 24 gekühlt. Der fertig formierte Wolframfaden tritt schließlich aus der Formierkammer heraus und wird auf die Rolle 27 aufgewickelt. In den Zusatzpatenten der Westinghouse-Gesellschaft (D. R. P. 236712 vom 30. Oktober 1910; D. R. P. 243652 vom 1. Juni 1911; D. R. P. 244061 vom 24. Mai 1911; D. R. P. 244886 vom 11. Juli 1911) sind noch besondere Verbesserungen für den Formierautomaten vorgesehen. Wie wir sehen, stellt der Formierautomat der Westinghouse-Gesellschaft einen sehr brauchbaren Apparat vor, der eine Konkurrenz mit dem neuesten Wolframziehverfahren gestattet. Dies wird insbesondere dann der Fall sein, wenn der Apparat in Kombination mit dem Wolfram-Thoriumdioxid-Duktilisierungsverfahren benutzt werden wird. Ein anderes Verfahren, welches sich für die Massenformierung von Wolframfäden scheinbar gut eignet, ist das der Lichtwerke-G. m. b. H. in Konkurs in Berlin (D. R. P. 246911 vom 19. Februar 1910) geschützte Verfahren. Hier werden die bügelförmigen Rohfäden nicht einzeln durch elektrischen Strom erhitzt, sondern in großer Zahl in feuerfesten Schiffchen durch einen hochoverhitzten Röhrenofen, welcher mit reduzierenden Gasen gespült wird, hindurchgeschickt und auf einmal gesintert. Die nach diesem Verfahren hergestellten Fäden sind wohl nicht vollständig fertiggesintert, die Endsinterung muß vielmehr nach Fertigstellung der Lampen durch elektrischen Strom bewirkt werden.

Bevor wir zu dem Wolframziehverfahren übergehen, wollen wir noch kurz auch die Fabrikation des Molybdändrahtes nach dem Spritzverfahren besprechen. Das Pasten, Pressen, Glühen und Formieren der Molybdänfäden geschieht in einer dem Wolfram völlig analogen Weise. Der dabei erhältliche Molybdändraht ist im Gegensatz zum Wolfram weich und biegsam. Man muß nur, will man biegsamen Molybdändraht erhalten, ein möglichst gründlich reduziertes Molybdänpulver verwenden, sowie auf sehr gründliche Wasserdampf-Formierung bedacht sein. Die Tatsache der Biegsamkeit des Molybdändrahtes gab den Glühlampenfachleuten die Hoffnung, daß auch die Duktilisierung des nur in sprödem Zustande bekannten Wolframs einmal gelingen wird, eine Hoffnung, die früher in Erfüllung gegangen ist, als es die größten Optimisten erwartet haben.

## Die Wolframziehverfahren und die Darstellung streckbaren Wolframs.

In der Technik werden fast alle Metalle auf mechanischem Wege durch Walzen und Ziehen auf Draht verarbeitet. Das Werkstück passiert meistens im heißen Zustande eine Anzahl immer kleiner werdender Walzprofile und wird von bestimmtem Durchmesser ab vermittelst Ziehens durch Stahl-, Saphir- und Diamantdüsen zu einem Draht von gewünschtem Durchmesser gestreckt. Das Ziehen, welches bei verhältnismäßig geringem Querschnitt des Werkstückes einsetzt, wird gewöhnlich in der Kälte ausgeführt, wobei der Draht immer nach dem Passieren einer Anzahl Düsen durch Ausglühen angelassen, d. i. weich gemacht werden muß, da er durch die mechanische Behandlung sehr bald hart wird. Es ist klar, daß die Erfinder, als es sich darum handelte, Drähte aus Osmium, Tantal, Wolfram und anderen Metallen für Glühlampenzwecke herzustellen, in erster Linie daran dachten, die Drähte auf mechanischem Wege herzustellen. Der hohe Schmelzpunkt, die erforderliche Reinheit und leichte Oxydationsfähigkeit dieser Metalle erlaubten es nicht, größere homogene Werkstücke aus diesen Metallen herzustellen. Man war höchstens in der Lage, kleine Klumpen aus diesen Metallen zu erschmelzen oder dünne Stäbchen zu sintern, welche jedoch, mit Ausnahme von Tantal, bei gewöhnlicher Temperatur zu spröde waren, um irgend eine mechanische Behandlung zu vertragen. So sagt auch Auer von Welsbach zu Beginn seiner Patentschrift (D. R. P. 138135): „Die Herstellung absolut dichter Drähte oder Fäden aus Osmium war nicht möglich, da das nur in den höchsten Temperaturen schmelzbare Osmium sich als Regulus in keinerlei Weise, weder durch Ziehen noch durch Walzen, infolge seiner großen Sprödigkeit bearbeiten läßt.“ Der Erfinder mußte also einen Umweg wählen, um zu Drähten aus diesem Metall zu gelangen. Beim Wolfram verhielt sich die Sache völlig analog. Auch dieses Metall, durch Sinterung oder Schmelzen erhalten, war bei gewöhnlicher Temperatur ganz spröde und ließ eine mechanische Behandlung nicht zu. Wohl wußte man, daß dieses Metall bei dunkler Rotglut weich wird, sich schmieden und schweißen läßt (Moissan, Der elektrische Ofen, 1900, S. 215), man zweifelte auch nicht an der Möglichkeit, Wolframdrähte durch Walzen und Ziehen in der Wärme herstellen zu können. Da aber in der Technik Apparate und Vorrichtungen nicht bekannt waren, mit denen es möglich gewesen wäre, Werkstücke von verhältnismäßig kleiner Dimension, wie solche aus Wolfram nur erhältlich waren, bei Rotglut auf Draht zu verarbeiten, so war

es nötig, solche Apparate selbst zu konstruieren, eine Aufgabe, vor der so mancher Ziehereifachmann zurückschrecken würde, nicht nur die Erfinder, denen meistens als Chemiker die Technik des Ziehens an sich nicht sehr geläufig war. Diese Verhältnisse spiegeln sich sehr gut in den Worten von Dr. H. Kužel wieder (D. R. P. 194348): „Dem Ausziehen so spröder und hochschmelzender Metalle zu allerfeinsten Drähten, wie sie für die Herstellung von Glühkörpern einzig und allein in Betracht kommen, stehen die größten technischen Schwierigkeiten im Wege. Diese Metalle werden erst bei hoher Hitze für dieses Verfahren geschmeidig genug, und die Bauart der Vorrichtungen für diesen Prozeß wird überdies noch durch den notwendigen Ausschluß der Luft weiter kompliziert.“ Die ersten Bestrebungen, ein praktisches Wolframziehverfahren auszuarbeiten, waren darauf gerichtet, Verfahren zu finden, nach welchen sich aus Wolfram durch mechanische Behandlung bei gewöhnlicher Temperatur Draht herstellen ließe.

Die Firma Siemens & Halske in Berlin hatte bereits ein solches Verfahren für das Tantal ausgearbeitet, und es ist deshalb leicht begreiflich, daß diese Firma bestrebt war, ein ähnliches Verfahren auch für das Wolfram auszuarbeiten, insbesondere als die Firma wegen der hohen Ökonomie und anderer Vorteile der Wolframlampe in dieser für die Tantallampe eine gefahrvolle Konkurrentin erblicken und deshalb selbst rechtzeitig nach brauchbaren Wolframpatenten Umschau halten mußte. Die Vermutung, daß man durch das Schmelzen von Wolfram im elektrischen Vakuumlichtbogenofen, ähnlich wie beim Tantal, einen duktilen, bei gewöhnlicher Temperatur bearbeitbaren Metallregulus erhalten kann, hat sich nicht bestätigt. Sowohl das Verfahren (D. R. P. 169928 vom 30. Juli 1904), nach welchem Reguli aus geschmolzenem Wolfram, als auch das Wolframziehverfahren, nach welchem nur gesintertes Wolfram (engl. Pat. 3174, 1907) durch mechanische Behandlung bei gewöhnlicher Temperatur sich zu Draht verarbeiten lassen soll, haben sich praktisch nicht bewährt, da die analog dem Tantal hergestellten Wolframkörper spröde und hart blieben und eine mechanische Behandlung bei gewöhnlicher Temperatur nicht vertragen konnten. Die Firma Siemens & Halske schlug nun einen anderen Weg ein, um durch Ziehen zum Wolframdraht zu gelangen. So versucht die Firma (D. R. P. 181050 vom 16. November 1904), auf einen Tantaldraht Wolframmetall aus geeigneten chemischen Verbindungen niederzuschlagen und dieses Gebilde zu dünnen Drähten auszuziehen. Nach einem anderen Patent (D. R. P. 173134) wird an Stelle des Tantaldrahtes ein Eisen-

draht verwendet, welcher in einer Atmosphäre von Wolframchloriden und Wasserstoff, ähnlich dem Verfahren von Just und Hanaman, mit Wolframmetall überzogen wird. Nachdem auf diese Weise ein genügend dicker Niederschlag aus Wolfram erzeugt wurde, sollte der Draht einem Ziehprozeß unterworfen und zum Schluß das Eisen durch Erhitzen auf Weißglut aus dem Draht vollständig entfernt werden. Nach einem anderen, auch von Siemens & Halske stammenden Verfahren (D. R. P. 197382 vom 17. März 1906, und 206142 vom 12. Februar 1908) soll man auf mechanischem Wege zu Drähten aus Wolfram dadurch gelangen, daß man in ein Rohr aus duktilem Metall Wolframpulver hineinpreßt, alle Reste von Luft durch Evakuieren entfernt und die Rohrenden auch im Vakuum zuschmilzt. Hierauf wird das mit Wolframpulver gefüllte Rohr in gewöhnlicher Weise zu einem feinen Draht ausgezogen, die Hülle in Säuren weggelöst, wobei schließlich das Wolfram in Form eines Drahtes zurückbleibt. Da reines Wolfram bei dieser Behandlung keinen festen Draht lieferte, schlägt die Firma Siemens & Halske vor (D. R. P. 250113 vom 12. Dezember 1907), dem Wolframpulver 10 bis 15 % eines duktilen Metalles, wie Silber, Kupfer, Nickel, Gold oder Platin, auf galvanischem oder chemischen Wege durch Bildung eines Überzuges auf den einzelnen Teilchen zuzusetzen. Schließlich wird auch noch vorgeschlagen (D. R. P. 194682 vom 4. November 1906), das Rohr beim Walzen derart zu erhitzen, daß im Inneren desselben aus dem Gemisch eine Wolframlegierung entsteht. Nach beendetem Ziehprozeß wird die Hülle durch Säuren entfernt und ein Draht, aus einer Wolframlegierung bestehend, bleibt zurück. Dieser wird nun durch elektrischen Strom im Vakuum oder einer inerten Atmosphäre auf hohe Weißglut erhitzt, wobei die Fremdmetalle herausdestillieren und ein fester, gesinterter Draht aus reinem Wolfram zurückbleibt. Alle die bisher angeführten Verfahren sind nur von geringer praktischer Bedeutung.

Diese Versuche aber führten die Firma Siemens & Halske zu einer Erfindung, die für die Glühlampenindustrie vielleicht von der größten Bedeutung geworden wäre, hätte man nicht inzwischen auf anderem Wege die Duktilisierung des Wolframs erreicht. Siemens & Halske entdeckten die Tatsache, daß eine Wolframlegierung mit geringem Prozentsatz von Nickel hervorragend duktil ist und sich bei gewöhnlicher Temperatur zu den feinsten Drähten ausziehen läßt. Das in den Patenten (D. R. P. 233885 vom 27. September 1907 und 232260 vom 8. Juli 1908) niedergelegte Verfahren versprach den größten Erfolg. Danach wird ein Nickelwolframat mit Wolfram-

pulver oder Wolframtrioxyd mit Nickeloxyd in dem Verhältnis vermengt, daß nach der Reduktion des Gemisches dieses ungefähr aus 90 % Wolfram und 10 % Nickel besteht. Die Reduktion des Gemisches wird im Wasserstoffstrom mit besonderer Sorgfalt ausgeführt. Das reduzierte Nickelwolframpulver wird durch Pressen mit oder ohne Zusatz eines flüchtigen Bindemittels zu einem Stäbchen geformt, welches in einem elektrischen Widerstandsofen zuerst bei etwa  $1400^{\circ}\text{C}$  6 Minuten lang vorgesintert und dann bei etwa  $1510^{\circ}\text{C}$  zu einem festen Stäbchen fertiggesintert wird. Das schöne, blanke und völlig biegsame Stäbchen wird nun einem Walz- und Ziehprozeß unterworfen und zu einem beliebig dünnen Draht ausgezogen. Natürlich muß man den Draht während des Ziehprozesses öfter ausglühen, da er sonst durch die mechanische Behandlung zu hart wird und beim Ziehen reißen könnte. Der fertige Nickelwolframdraht wird nun auf ein Lampengestell, welches dem bei Tantalampen benutzten ähnlich ist, gewickelt und im Vakuum hoch erhitzt. Hierbei verdampft das gesamte Nickel aus dem Draht, welcher sich stark zusammenzieht und sintert. Der Nickelbeschlag (der auch Wolfram und Wolframoxyde enthält), welcher den Glasstengel bedeckt und leicht Kurzschluß verursachen könnte, wird mit einer wässerigen Lösung von Salpetersäure-Phosphorsäure oder Chromsäure-Phosphorsäure weggelöst (D. R. P. 238756 vom 18. Juni 1910). Das Lampengestell, auf welchem sich nun ein Leuchtkörper aus reinem Wolfram befindet, kann in eine Glasglocke eingeschmolzen und die Glühlampe in gewöhnlicher Weise fertiggestellt werden. Man ersieht ohne weiteres die großen Vorteile einer Fabrikation nach dem Nickelwolframverfahren gegenüber dem gewöhnlichen Spritzverfahren. Man kann aus einem Nickelwolframstäbchen hunderte Meter biegsamen Drahtes herstellen, auf einer kleinen Spule unterbringen und nach Bedarf denselben ohne Bruch auf Lampengestelle aufwickeln. Das Austreiben des Nickels, welches an jeder Lampe vorgenommen werden muß, kann wohl als eine Formierung bezeichnet werden; die Operation ist jedoch bei weitem nicht so umständlich wie das gewöhnliche Formieren. Die Firma Siemens & Halske hat auch tatsächlich nach dem Nickelwolframverfahren ihre Wotanlampe in größerem Maßstabe fabriziert. Dem Nickelwolframverfahren hafteten aber auch einige wichtige Nachteile an. So konnte man z. B. Hochkerzenlampen mit mäßig dicken Wolframdrähten nach diesem Verfahren kaum gut herstellen, da das Nickel aus den dicken Drähten beim Formieren nicht restlos verjagt werden konnte und erst allmählich während des Brennens der Lampe herausdestillierte und die Lampe

schwärzte. Diesem Übelstande wurde dadurch zu begegnen versucht, daß man dicke Nickelwolframdrähte durch Verseilen einer größeren Anzahl dünner Drähte herstellte. Das Austreiben des Hilfsmetalls aus solchen Gebilden ließ sich ebenso vollständig wie bei dünnen Drähten durchführen (D. R. P. 242657). Dieses Verfahren war natürlich nicht sehr ökonomisch, da man, von dicken Drähten ausgehend, durch einen langwierigen Ziehprozeß zu dünnen Drähten gelangen mußte, um sie schließlich in dicke zu vereinen. Außerdem hatten solche dicken Drähte keine glatte Oberfläche und strahlten deshalb schwärzer, also unökonomischer als die gewöhnlichen glatten Drähte. Die merkwürdige Tatsache, daß das Wolfram mit einem kleinen Prozentgehalt Nickel eine bei gewöhnlicher Temperatur so zähe und dehnbare Legierung bildet, ist theoretisch noch nicht aufgeklärt. Man könnte zur Erklärung dieser Erscheinung annehmen, daß das Nickel etwa die das Wolfram spröde machenden Verunreinigungen in sich aufnimmt und dadurch das Wolfram duktil macht. Dagegen spricht die merkwürdige Tatsache, daß es gelingt, aus einem bereits duktilen Nickelwolframdraht fast den größten Teil des Nickels zu verjagen, ohne daß dieser dabei seine Biegsamkeit verlieren würde. Die Menge des Nickels, welche in einem solchen noch duktilen Draht zurückbleiben muß, damit seine Duktilität erhalten bleibt, liegt weit unterhalb der Grenze, von welcher umgekehrt ein Zusatz von Nickel dem Wolfram die Duktilität zu verleihen beginnt. Diese merkwürdige Tatsache könnte man vielleicht — mit allem Vorbehalt — auf die Weise erklären, daß man annimmt, daß das Nickel bei der Reduktion und Sinterung des Nickelwolframs im Wasserstoff die Rolle eines Wasserstoffüberträgers übernimmt, wodurch eine vollständige Reduktion des Wolframs gelingt. Es könnte möglich sein, daß die Sprödigkeit des Wolframs auf einen sehr geringen Gehalt von Sauerstoff zurückzuführen ist. Es sind mehrere Beispiele aus der allgemeinen Metallurgie bekannt, nach welchen Metalle durch einen minimalen Sauerstoffgehalt spröde werden. Demnach wäre vielleicht dem Nickel die Rolle eines Reduktionskatalysators zuzuschreiben. Nicht uninteressant ist die Tatsache, daß die Duktilität des Nickelwolframs und die Möglichkeit, aus dieser Legierung auf mechanischem Wege Draht herzustellen, bereits früher in einem Patent von F. Kuschenitz in Wien (österr. Pat. 24860 vom 6. März 1905), wenn auch implizite, zum Ausdruck gebracht wurde. In diesem Patent wird vorgeschlagen, einen Draht aus Chrom, Molybdän, Wolfram, Uran, Kobalt und Nickel, oder aus Legierungen dieser Metalle — also auch Nickelwolfram — durch Ziehen und Walzen

herzustellen. Wiewohl dieses Patent als Neuheitsschädlich für das Nickelwolframpatent zu betrachten wäre, ist es trotzdem nicht möglich, deshalb dem ganzen Nickelwolframpatent, welches zweifellos ein geistreiches Verfahren darstellt, die Originalität abzusprechen.

Eine andere Methode zur Herstellung von Wolframdraht nach dem Hilfsmetallverfahren wurde von der Firma Bergmann-Elektrizitätsgesellschaft in Berlin beschrieben (D. R. P. 259225). Die Firma geht zur Herstellung zusammenhängender Massen aus Wolfram von dessen Legierungen mit leicht verdampfenden Metallen, z. B. Antimon aus, aus welchen sich nach erfolgter Sinterung das Hilfsmetall sehr leicht und vollständig vertreiben läßt. Da aber schon bei den Temperaturen der Sinterung das Hilfsmetall einen beträchtlichen Dampfdruck besitzt, so ist es nötig, die Formierung bzw. das Schmelzen in einer den Dampf des Hilfsmetalle enthaltenden Atmosphäre auszuführen. Die Legierungen, welche sich die Bergmann-Elektrizitätsgesellschaft geschützt hat, dürften wohl kaum einen wesentlichen Duktilitätsgrad besitzen und sind in dieser Beziehung nicht mit dem Nickelwolfram vergleichbar. Der Vorteil, den sich die Firma aus ihrem Verfahren verspricht, ist der, daß man auf diesem Wege bei viel tieferen Temperaturen zu zusammenhängenden Massen aus Wolfram gelangen kann, welche man in weiterer Linie in der Wärme in bekannter Weise zu Wolframdraht verarbeiten könnte.

Während man in Europa bestrebt war, ein Wolframziehverfahren auszuarbeiten, nach welchem das Walzen und Ziehen bei gewöhnlicher Temperatur erfolgen könnte, und deshalb, da das reine Wolfram bei gewöhnlicher Temperatur spröde war, genötigt war, Wolframlegierungen zu benutzen, hat die General Electric Company in Amerika gewagt, das Problem des Wolframziehens in der Wärme aufzugreifen. Es gehörte viel Mut und Ausdauer dazu, um ein solches Verfahren auszuarbeiten, insbesondere, als man anfangs darauf gefaßt sein mußte, daß auch das Endprodukt, der feine Draht, bei gewöhnlicher Temperatur spröde sein wird. Für die langwierigen Versuche sahen sich aber dafür die Erfinder zum Schluß weitaus mehr belohnt als sie sich selbst erhofft hatten. Wir wollen nun die Arbeiten der General Electric Company (G. E. C.), welche zur Duktilisierung des Wolframs führten, näher betrachten. Die G. E. C. in Amerika hat durch die British Thomson Houston Co. in England zwei Patente angemeldet und auch erhalten (engl. Pat. 21513, 1906, und 16530, 1907), aus welchen man den Verlauf der Arbeiten leicht ersehen kann. Zu Beginn der Patentbeschreibung versucht die Firma zu

erklären, warum die Versuche aufgenommen wurden. Es heißt dort (übersetzt): „Wir haben gefunden, daß Wolfram, wenn es erhitzt wird, bemerkenswerte molekulare Veränderungen erfährt und so duktil wird, daß man es, wenn es warm ist, leicht bearbeiten kann. Wir wollen nicht versuchen, die molekularen Veränderungen zu erklären, welche diese bemerkenswerte Änderung der physikalischen Eigenschaften des Wolframs hervorrufen, wir beschreiben jedoch nachstehend, wie diese neu entdeckte Eigenschaft verwertet werden kann. Das Metall wird so duktil, daß es zu Stäben gehämmert, zu Blech gewalzt oder durch Düsen zu Drähten gezogen werden kann, sehr ähnlich jenen Metallen, welche gewöhnlich auf diese Weise bei normaler Temperatur bearbeitet werden.“ In diesen Worten stellt die G.E.C. die längst bekannte Tatsache, daß das Wolfram, wenn erhitzt, duktil wird, als eigene Beobachtung und Entdeckung einer neuen Eigenschaft hin. Die zweifellos verdienstvollen und mühevollen Arbeiten der G.E.C. auf diesem Gebiete hätten einer solchen Motivierung nicht bedurft. Nach den in den erwähnten Patentschriften beschriebenen Verfahren wird entweder nach dem Amalgamprozeß, Pasteverfahren oder durch einfaches Pressen des reinen Wolframpulvers in geeigneten Preßformen und nachfolgende Sinterung ein fester Wolframstab hergestellt. Der Wolframstab wird nun bei Rotglut ausgehämmert und in erhitztem Zustande durch geheizte Walzen geschickt. Sodann wird der Draht bei Rotglut durch erhitzte Zieheisen aus Schnelldrehstahl, schließlich bei kleinem Durchmesser durch erhitzte Diamantziehsteine gezogen. Solange der Wolframdraht genügend dick ist, kann seine Bearbeitung an freier Luft ausgeführt werden, da die Oxydation den Draht nur oberflächlich angreift. Bei ganz dünnen Drähten ist es nötig, das Ziehen im Vakuum oder in einer inerten oder reduzierenden Atmosphäre durchzuführen. An Stelle der Anwendung des Vakuums oder der Schutzatmosphären beim Ziehen des Wolframdrahtes schlägt die G.E.C. vor, den Wolframdraht auf elektrolytischem oder mechanischem Wege mit einer Schutzschicht aus Edelmetall zu versehen, welche zusammen mit dem Draht bis zum gewünschten Durchmesser gezogen wird und auf diese Weise den Wolframdraht vor Oxydation bewahrt. Die Entfernung der Schutzschicht nach vollendetem Ziehprozeß gelingt leicht in der verschiedensten Weise, entweder durch Weglösen mit Säuren oder durch Verdampfung bei hoher Glut. Die G.E.C. gibt auch die Konstruktion der zur Ausführung des beschriebenen Verfahrens nötigen Apparate an. Wir werden bei der eingehenden Besprechung des nachfolgenden Patentbesitzes der G.E.C.

Gelegenheit haben, dieselbe Apparatur in vervollkommneter Form kennen zu lernen. Es sei hier noch zum Schluß erwähnt, daß es der G. E. C. in Deutschland und Österreich nicht gelungen ist, ähnliche Patente zu erlangen; zum Teil aus guten Gründen, da das Ziehen von Wolfram in der Wärme ein allgemein bekanntes Problem war, und die Methoden, nach welchen ein solches Verfahren ausgeführt werden könnte, durch die Theorie und Erfahrung bereits vorgeschrieben waren. Trotzdem hat sich die G. E. C. ein großes Verdienst erworben, indem sie es wagte, die Ausarbeitung dieses in rein mechanischer Hinsicht sehr schwierigen Verfahrens aufzunehmen.

Erst im Jahre 1909 meldete die G. E. C. durch die British Thomson Houston Co. in England ein Patent an (engl. Pat. 23499, 1909), in welchem die Gesellschaft zum erstenmal über die Duktilisierung des Wolframs auf mechanischem Wege berichtet. Das Patent hat begreiflicherweise eine Umwälzung in der Glühlampenindustrie hervorgerufen. Wir wollen deshalb das in dem Patent beschriebene Verfahren eingehend besprechen. Das Wolframziehverfahren zerfällt in folgende Arbeitsabschnitte: 1. Herstellung des Metallpulvers, 2. Pressen und Vorsinterung der Stäbe, 3. Sinterung, 4. Hämmern und Walzen, 5. Ziehen.

Die Herstellung des Wolframpulvers geschieht mit besonderer Sorgfalt. Reinste Wolframsäure wird in Schamottetiegeln  $1\frac{1}{2}$  Stunden auf etwa  $1350^{\circ}$  bis  $1400^{\circ}$  C erhitzt. Dadurch erreicht man, daß die Säure zu grobem kristallinischem Pulver zusammensintert, welches sich besonders gut reduzieren läßt und grobkörniges Metall liefert. Zur Reduktion werden Heraeus-Platinbandöfen verwendet. Der zur Reduktion benutzte Wasserstoff wird sorgfältigst von allen Spuren Wasserdampf und Sauerstoff befreit. Die Wolframsäure wird in ein unglasiertes Porzellanrohr eingefüllt und durch Schaffung eines feinen Kanals für den freien Durchzug des Wasserstoffs durch die Wolframsäurefüllung gesorgt. Das mit der Wolframsäure gefüllte Rohr wird nun möglichst rasch auf etwa  $1250$  bis  $1300^{\circ}$  C erhitzt und die Wolframsäure erschöpfend reduziert. Nach beendeter Reduktion läßt man den Ofen abkühlen und schaufelt das Metall aus dem Rohr heraus. Das Wolframmetall bildet, auf solche Art dargestellt, ein hellgraues, grobkristallines, schweres Pulver, welches sich verhältnismäßig noch am besten zu Stäben pressen läßt.

Das Pressen des Wolframpulvers zu viereckigen, etwa 20 cm langen Stäben geschieht in besonderen Stahlformen, deren Seiten und Stirnwände sich leicht nach dem Pressen auseinandernehmen

lassen, so daß der gepreßte Stab, welcher noch sehr brüchig ist, vorsichtig bloßgelegt werden kann. Fig. 21 zeigt die Skizze einer von der Breitseite gesehenen Preßform. Fig. 22 stellt ein Preßwerkzeug System W. Gladitz vor. Das Pressen geschieht in der Weise, daß in die mit entsprechender Menge Wolframpulver beschickte Preßform ein genau geschliffener Stahlstempel durch eine hydraulische Presse unter hohem Druck eingeführt wird. Der anzuwendende

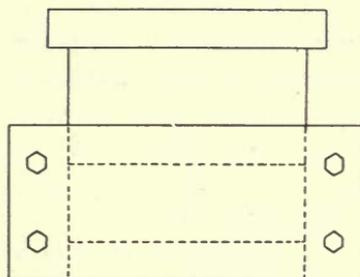


Fig. 21. Preßform für Wolframstäbe.

Preßdruck richtet sich sehr nach der Beschaffenheit des Wolframpulvers. Ein zu niedriger Druck liefert Stäbe, die außerordentlich leicht wieder zu Pulver zerfallen. Zu hoher Druck hingegen liefert oft Stäbe mit Längsrissen, welche vornehmlich dadurch entstehen, daß die massiven Seitenwände der Preßform infolge des außerordentlich hohen Preßdruckes sich ein wenig auseinanderbiegen und nach dem Aufhören des Druckes in die ursprüngliche Lage zurückkehren. Ist der Wolframstab richtig gepreßt, so wird er auf flache Schiffchen aus schwer schmelzbarem Metall gelegt und der Vorsinterung unterworfen. Die Vorsinterung

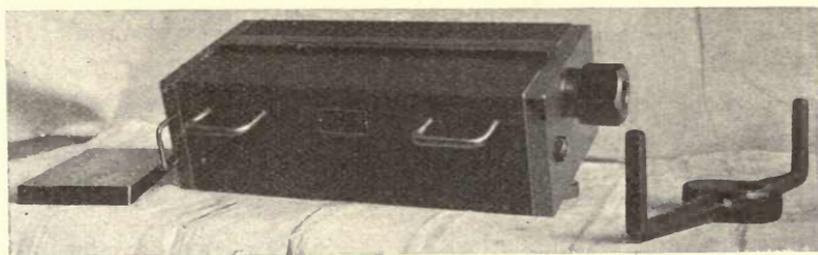


Fig. 22. Preßwerkzeug für Wolframstäbe, System W. Gladitz.

geschieht im Wasserstoffstrom bei etwa 1200 bis 1250 ° C in Platinbandöfen und bezweckt eine Verfestigung und weitere Reduktion der Stäbe. Nach der Vorsinterung sind die Stäbe derart hart, daß man dieselben ohne Bruchgefahr in die Klemmen des Sinterapparates einspannen kann.

Das Sintern oder Formieren der Stäbe geschieht in einem besonderen Formierapparat. Ein solcher Apparat ist von O. Ruff („Zeitschr. f. angew. Chem.“ 1912, S. 1889) und von Robert Palmer (canad. Pat. 134946 vom 15. August 1911) beschrieben. Der Formierapparat besteht aus einem massiven, mit Wasser gekühlten Zylinder,

welcher auf einem Untersatz aus Metall ruht. Der untere Rand des Zylinders ist auf den Untersatz genau eingeschliffen und bildet, mit einem konsistenten Fett eingeschmiert, einen völlig gasdichten Verschluss. Ein ebenso dichter Abschluß, wenn auch nicht so hygienisch, läßt sich durch eine im Untersatz befindliche, mit Quecksilber gefüllte Rinne, in welche der untere Teil des Zylinders hineinragt, erzielen. In dem Metallzylinder befinden sich zwei wassergekühlte voneinander elektrisch isolierte Klemmen, von denen die obere gewöhnlich fixiert, die untere aber beweglich angeordnet wird. Diese Anordnung muß deshalb getroffen werden, weil der Wolframstab, welcher mit seinen Enden an die beiden Klemmen angeschlossen wird, beim Vorgang des Sinterns sich stark verkürzt und deshalb bei einer stabilen Anordnung beider Klemmen aus einer der beiden sonst herausgerissen würde. Die bewegliche untere Klemme wird entweder nach dem Vorschlag von Palmer schwimmend in einem Quecksilberbassin untergebracht (siehe Fig. 23), durch welches auch der elektrische Strom zugeführt werden kann, oder an einer starken Metallfeder, die gleichzeitig als Stromleitung dient, befestigt. An die obere und untere Klemme werden die Pole eines 15 bis 20 KW.-Wechselstromtransformators mit etwa 15 Volt Sekundärspannung angeschlossen. Der Formierzylinder besitzt zwei Ansätze für den Eintritt und Austritt des Wasserstoffs, welcher während des Formierprozesses den Zylinder durchströmt. Man kann auch statt Wasserstoff Formiergas benutzen, welches aus einem Gemisch von etwa 80 % Stickstoff und 20 % Wasserstoff besteht. Durch Einschaltung des elektrischen Stromes wird der Stab allmählich auf hohe Glut gebracht und gesintert. Die höchste vorteilhafte Formiertemperatur wird gewöhnlich empirisch ermittelt, indem man entweder die Temperatur auf optischem Wege vermittelt eines Pyrometers feststellt, oder die Stromstärke bestimmt, bei welcher ein Stab von bestimmten Dimensionen gerade durchschmilzt, die sogen. Durchschmelzstromstärke, und nach dieser, durch Abzug eines bestimmten Prozentteiles, die höchst zulässige Formierstromstärke richtet. Die Formierung der Stäbe wird bei möglichst hoher Temperatur ausgeführt. Es scheint sogar, daß dabei die Wolframstäbe oft im Innern bereits schmelzen, während die Oberfläche infolge der Abkühlung durch Wärmekonvektion und Strahlung noch fest bleibt. Es ist auch leicht begreiflich, daß bei der Erhitzung auf so hohe Temperatur die Sinterung des Wolframstabes so vollständig wird, daß dessen Aussehen und Beschaffenheit sich von der des geschmolzenen Wolframs kaum unterscheidet. Die Sinterungsfähigkeit der gepreßten

Metallpulver, auch weit unterhalb der Schmelztemperatur derselben, ist eine seit langem bekannte Tatsache. Es ist durchaus nicht nötig, etwa anzunehmen, daß der von der G.E.C. empfohlene Kohlenzusatz zum Wolframpulver (etwa 1 %) den Zweck verfolgt, durch

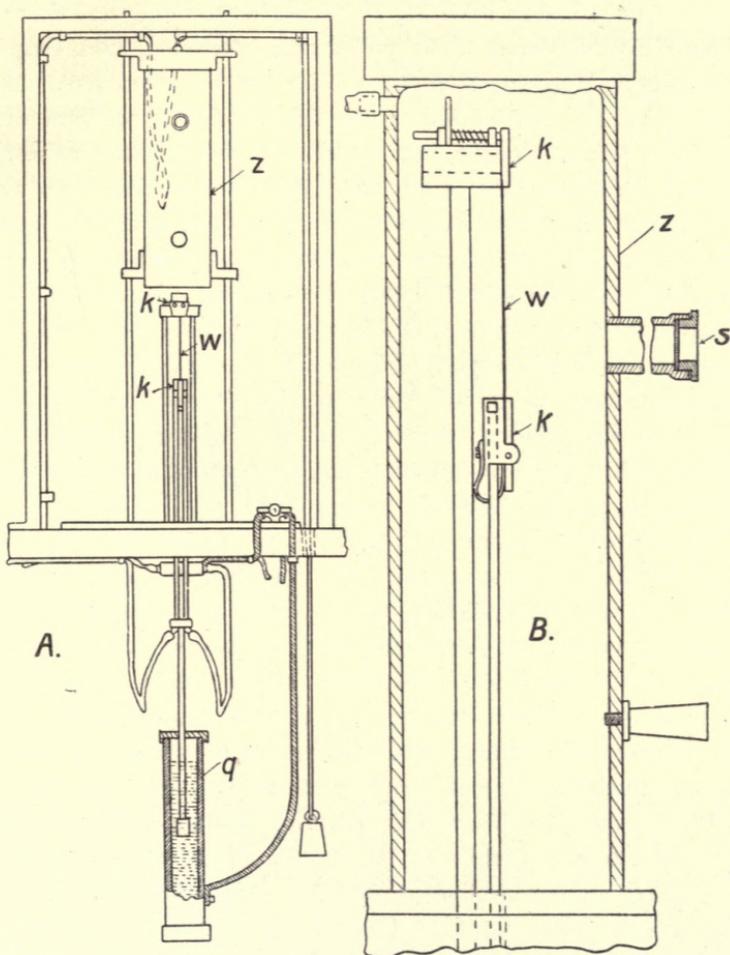


Fig. 23. Formierapparat für Wolframstäbe.  
z Zylinder, k k Klemmen, w Wolframstab, q Quecksilberwanne, s Schauloch.

intermediäre Bildung des leichter schmelzenden Karbids den Sinterungsgrad der Stäbe zu erhöhen (Otto Ruff, Über die Darstellung streckbaren Wolframs, „Zeitschr. f. angew. Chemie“, Bd. 25, 1912, S. 1893). Die Sinterung von Stäben aus ganz reinem Wolfram läßt sich auf jeden beliebigen Grad durch einfaches Erhitzen bewirken. Der Kohlenstoffzusatz, welchen die G.E.C. empfiehlt, wird vielmehr den Zweck verfolgen, welchen die Gesellschaft auch tatsächlich

angibt, und zwar die vollständige Reduktion des Wolframs. Die Gegenwart von geringsten Spuren von Sauerstoff ist für die Duktilität des Wolframs von großem Nachteil. Wird nun die Reduktion der relativ dicken Stäbe lediglich durch die Formierung in reduzierenden Atmosphären bewirkt, so ist zu befürchten, daß diese auch bei langer Formierdauer nicht vollständig verläuft. Bei Gegenwart von geringen Mengen Kohlenstoff ist es zu erwarten, daß die Reduktion in der ganzen Masse vor sich geht und dadurch die Entfernung der letzten Spuren von Sauerstoff viel leichter gelingt. Die gesinterten Wolframstäbe sind bei Zimmertemperatur spröde und hart. Eine mechanische Behandlung durch Hämmern, Walzen oder Ziehen, die zu dauernder Formveränderung des Wolframstabes führen könnte, läßt sich bei gewöhnlicher Temperatur nicht ausführen. In der Wärme hingegen wird das Wolfram sehr weich und verträgt jede mechanische Behandlung und Formveränderung. Die mechanischen Operationen werden deshalb alle in der Wärme ausgeführt. Die etwa 10 mm im Quadrat dicken und 20 cm langen Stäbe werden zuerst dem Hämmerprozeß unterworfen, welcher mit Hilfe der Hämmermaschine („swaging machine“) ausgeführt wird.

Die Hämmermaschine war in Europa bis vor kurzem fast gänzlich unbekannt und feierte erst ihren siegreichen Einzug zusammen mit dem Wolframziehverfahren der G. E. C. In Amerika war dabei merkwürdigerweise die Maschine seit 20 Jahren bereits allgemein bekannt und verwendet. Erfunden wurde diese Maschine von W. H. Dayton (amerik. Pat. 376 144 vom 10. Januar 1888; 515 576, 1894). Damit die Eignung und Bedeutung dieser Maschine für das Wolframziehverfahren recht verständlich wird, ist es nötig, die Bauart und Wirkungsweise dieser interessanten Maschine, die sicher noch jetzt außerhalb der Fachkreise in Europa recht wenig bekannt sein dürfte, näher zu beschreiben (Fig. 24). Eine durchbohrte, vorn zu einem zylindrischen Kopf *B* verbreiterte Achse *A* besitzt in der Mitte des verbreiterten Teiles eine Aussparung, in der sich je zwei Stahlblöckchen, Hämmer *d* und Backen *e* genannt, befinden. Die Hämmer sind an der Außenseite abgerundet und stehen aus der Aussparung, in der sie sich befinden, ein wenig hervor. Sie sind nach innen und außen innerhalb eines kleinen Spielraumes, den der im Schlitz *g* befindliche Führungsstift *f* zuläßt, beweglich. Die zwei Stahlbacken *e*, welche zwischen den Hämmern den Rest der Aussparung ausfüllen, besitzen in der Mitte, in der Verlängerung der Achsenbohrung, eine von beiden Seiten konisch verlaufende Auskehlung *h*, welche in der Mitte zylindrisch wird. Der mittlere Teil

stellt das Profil des zu hämmernden Stabes dar. Die Stahlachse ruht drehbar in einem Lager *l*, und der verbreiterte Teil der Achse mit den Hämmern und Backen steckt in einem innen genau zylindrisch geschliffenen, gehärteten Stahlkopf *k*. Zwischen dem Achsenkopf und den Wänden des Stahlkopfes befindet sich ein frei beweglicher Rollenkranz *i* mit beweglichen, auf gleichen Durchmesser genau geschliffenen Stahlrollen *r*, die aus dem Kranz, in dem sie stecken, beiderseits, d. i. gegen die Wand des Stahlkopfes und des Achsenkopfes, hervorstehen. Die Stahlachse wird an der im hinteren Teile befindlichen Riemenscheibe *j* angetrieben. Dreht sich nun die

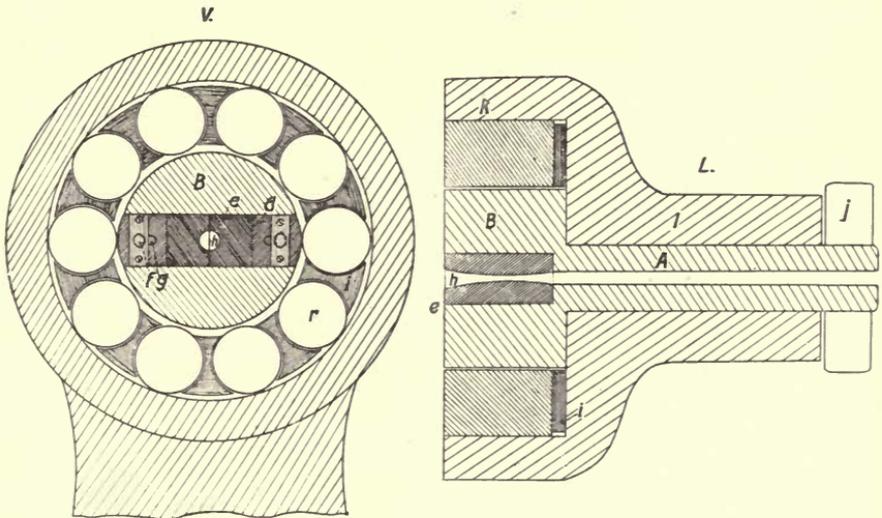


Fig. 24. Hämmemaschine von Dayton. *V* Querschnitt, *L* Längsschnitt.

Achse, so fliegen infolge der Zentrifugalkraft die Hämmer und die Backen, soweit es die Führungsstifte *f* zulassen, nach außen, wodurch der Raum zwischen den Backen etwas größer wird, so daß man nun zwischen diese etwas stärkere Stäbe, als dem Backenprofil *h* entspricht, hineinführen kann. Im nächsten Augenblick fahren die beiden Hämmer mit den hervorstehenden, abgerundeten Seiten gleichzeitig an den korrespondierenden Stahlrollen vorbei und werden gegen die Mitte geschleudert, wodurch die Backen zusammenschlagen und die eingeführten etwas dickeren Stäbe auf das Backenprofil herunterhämmern. Bei einer Achsendrehung wiederholt sich der Vorgang etwa zehnmal, so daß bei einer mäßigen Umlaufgeschwindigkeit von 600 Touren 6000 Schläge in der Minute gleichmäßig um den in die Maschine eingeführten Stab herum ausgeführt werden. Wurde der Metallstab auf diese Weise durch die Hämmemaschine in seiner

ganzen Länge auf das Backenprofil heruntergehämmert, so werden die Hämmerbacken gegen ein anderes Paar von kleinerem Profil ausgewechselt und der Hämmervorgang wiederholt. Auf diese Weise gelingt es in kurzer Zeit, einen fingerdicken Stab zu einem Draht von kaum 1 mm Durchmesser herunterzuhämmern. Eine etwas andere Konstruktion besitzt die Hämmermaschine von Langellier (engl. Pat. 12766, 1895). Bei dieser Maschine fehlt der bewegliche Rollenkranz und die Rollen befinden sich in passenden Versenkungen des massiven Zylinderkopfes. Sie stehen aus der inneren Zylinderfläche ein wenig hervor und schlagen an die vorbeifliegenden Stahlhämmer. Die Stahlhämmer selbst bestehen nicht wie bei der Hämmermaschine

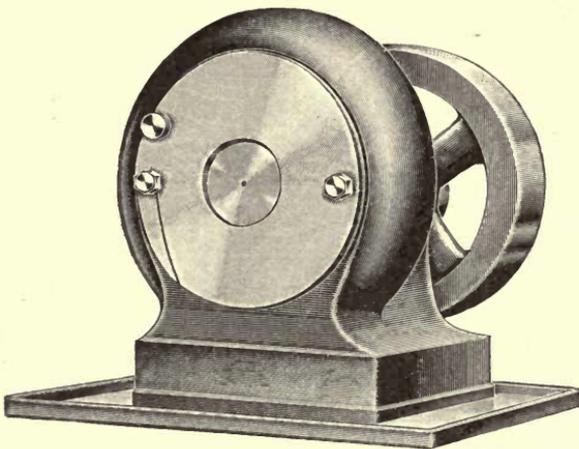


Fig. 25. Außenansicht einer Hämmermaschine.

von Dayton aus einem massiven Stahlstück, sondern aus zwei gelenkartig verbundenen Stahlkugeln, welche durch eine einfache Vorrichtung derart gegeneinander verstellbar werden können, daß die Breite des Gelenkhammers verschieden groß gemacht werden kann. Dadurch wird erreicht,

daß der zwischen den Hämmerbacken entstehende Schlitz auch während des Arbeitens der Maschine verschieden groß gestellt werden kann, wodurch man mit einem und demselben Backenpaar größere Profiländerungen des zu hämmernden Werkstücks bewirken kann, als mit den immer nur für eine Hämmerstufe bestimmten Backen der Dayton-Hämmermaschine. Es ergibt sich deshalb bei der Benutzung der Langellier-Hämmermaschine eine wesentlich geringere Zahl der nötigen Hämmerbacken, sowie ein flotteres Arbeiten infolge der Vermeidung des allzu oftigen Auswechselns der Backen. Fig. 25 stellt eine von Arno Loose in Chemnitz, Sachsen, fabrizierte Hämmermaschine dar. Eine andere Type der Hämmermaschine, von Fr. W. Gladitz, Berlin-Treptow, vertrieben, stellt Fig. 26 dar. Die Behandlung der Werkstücke mit der Hämmermaschine ist eine außerordentlich gleichmäßige, wie es eben aus der Wirkungsweise der Maschine hervorgeht. Heiß eingeführte Stäbe werden durch die

sehr kurze Berührung mit den kleinen Hämmerflächen der Backen kaum wesentlich abgekühlt. Der eigentlich hämmernde Teil der Backen, die zylindrische Strecke der Auskehlung, kann für diesen Zweck, wie es die G. E. C. vorsieht, ganz besonders kurz ausgestaltet werden. Handelt es sich darum, auf relativ kurzer Behandlungsstrecke eine ganz gleichmäßige Umwandlung des großkristallinen Gefüges zum feinkristallinen bei einem Werkstück vorzunehmen, so ist dafür die Hämmermaschine geradezu ideal. Das Hämmern der Wolframstäbe mit der Hämmermaschine wird nun auf folgende Weise durchgeführt. In der Nähe der Hämmermaschine wird ein Platinbandofen aufgestellt, welcher auf etwa  $1300^{\circ}\text{C}$  erhitzt und von Wasserstoff oder Formiergas durchströmt wird. In dem Ofen wird ein gesinterter Stab auf die Ofentemperatur erhitzt. Ist der Stab heiß genug, so setzt man die Hämmermaschine in Betrieb, greift den Stab mit einer passenden Zange aus dem Ofen heraus, führt ihn schnell, aber gleichmäßig in

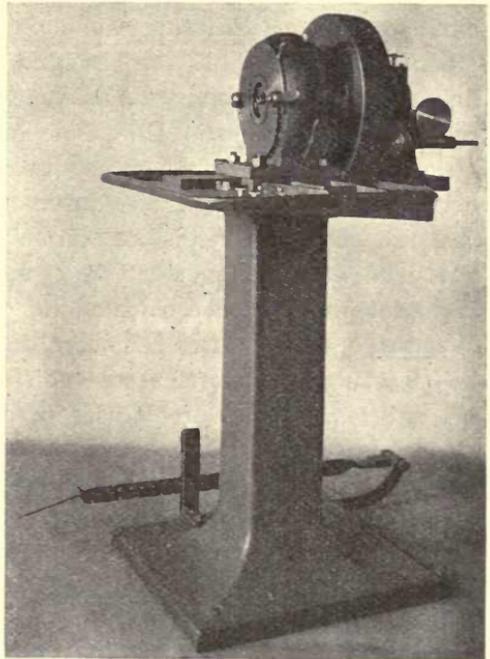


Fig. 26. Hämmermaschine von Fr. W. Gladitz.

die Maschine hinein und zieht ebenso schnell wieder heraus. Der Stab, welcher dabei nur wenig abgekühlt wird, wird zur Wiedererlangung seiner ursprünglichen Glut in den Ofen gesteckt und dann die Hämmerbacken gegen andere mit kleinerem Profil ausgewechselt. Die Hämmerprozedur wird nun stufenweise wiederholt, und so geht es weiter, bis der Stab eine ganze Reihe immer kleiner werdender Hämmerprofile passiert hat. Der Stab wird dadurch wesentlich verjüngt und gestreckt und nimmt schließlich die Form eines Drahtes an. Ist der Wolframdraht lang genug, so wird er nunmehr mit einer mechanischen Vorrichtung in die Maschine eingeführt, wobei er unmittelbar vor dem Eintritt in die Maschine durch einen Gasofen oder elektrischen Ofen immer erhitzt

wird. Man kann auch leicht die ganze beschriebene Operation in einer vor Oxydation schützenden Atmosphäre ausführen, indem man einfach auch durch die Hämmermaschine Formiergas oder Wasserstoff leitet. Diese Vorsichtsmaßregel ist jedoch kaum notwendig, da die Oxydation bei den verhältnismäßig dicken Stäben und den in Betracht kommenden Temperaturen nur an der Oberfläche vor sich geht und nur in sehr geringe Tiefen eindringt. Allerdings tritt infolge der Oxydation der Oberflächenschichten des Werkstücks oft eine wesentliche Erhärtung und Sprödigkeit im Laufe der Verarbeitung ein. Wohl wäre es prinzipiell möglich, durch Wiederholung der Reduktion bei sehr hohen Temperaturen die Oxydation rückgängig zu machen. Durch die hohe Erhitzung würde aber auch gleichzeitig die durch die mechanische Bearbeitung bereits zum Teil hervorgerufene günstige Strukturveränderung des Wolframs wieder verloren gehen. Um dies zu vermeiden, schlägt die G. E. C. (engl. Pat. 9788 vom 4. November 1912) vor, einfach die oxydierten und verhärteten Oberflächenschichten auf mechanischem oder chemischem Wege zu entfernen. Das Hämmern des Wolframdrahtes wird gewöhnlich bis zu einem Durchmesser von etwa 1 mm fortgesetzt. Schon bei ungefähr 2 mm Durchmesser wird der Draht biegsam und erhält ein feinkristallines Gefüge. Nach dem Hämmern kann der Draht bis zu einem Durchmesser von etwa 0,5 mm gewalzt werden.

Zu diesem Zwecke wird der Draht kurz vor dem Eintritt in die Walze erhitzt, während die Walzen selbst kalt bleiben. Der Draht passiert jede Rille zweimal, wodurch der beim ersten Durchgang durch die Walzenrille entstehende Grat beim zweiten Durchgang nach Verdrehung des Drahtes um  $90^{\circ}$  wieder niedergewalzt wird. Das Walzen ist, wie wir sehen, bei weitem keine gleichmäßige mechanische Behandlung und wird auch gewöhnlich überhaupt ganz ausgeschaltet, indem unmittelbar auf das Hämmern das Ziehen des Drahtes durch Diamantsteine erfolgt. Wiewohl es auch Hämmermaschinen gibt, welche eine Bearbeitung des Drahtes auf viel kleinere Durchmesser gestatten, wird mit dem Ziehen bereits von etwa 1 mm Drahtstärke begonnen, da durch die Operation des Ziehens der Draht noch viel schneller und gleichmäßiger sich verarbeiten läßt als durch die Hämmerprozedur, und der Draht bei dem genannten Durchmesser eine genügend große Zugfestigkeit und Biegsamkeit besitzt, um durch Ziehen verarbeitet zu werden.

Das Ziehen geschieht in der Wärme, trotzdem das Material auch bei gewöhnlicher Temperatur bereits ziehbar und zähe genug ist, da dadurch das Ziehen wesentlich erleichtert wird und eine

weitere Verbesserung der Drahtbeschaffenheit stattfindet. Die Temperatur, welche beim Ziehen des Wolframdrahtes angewendet wird, ist mit abnehmendem Durchmesser immer tiefer. Sie beträgt 600 bis

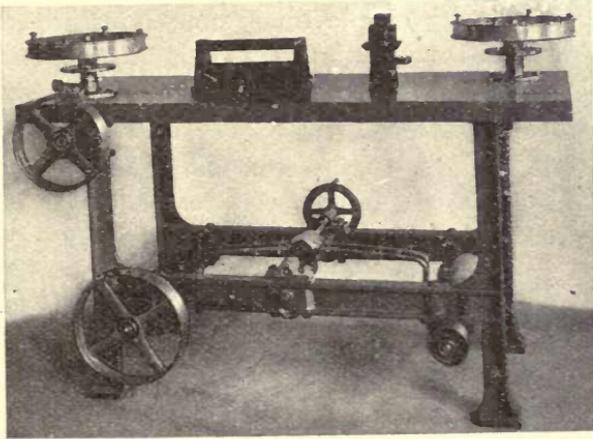


Fig. 27. Drahtgrobzug nebst Schmier- und Heizvorrichtung.

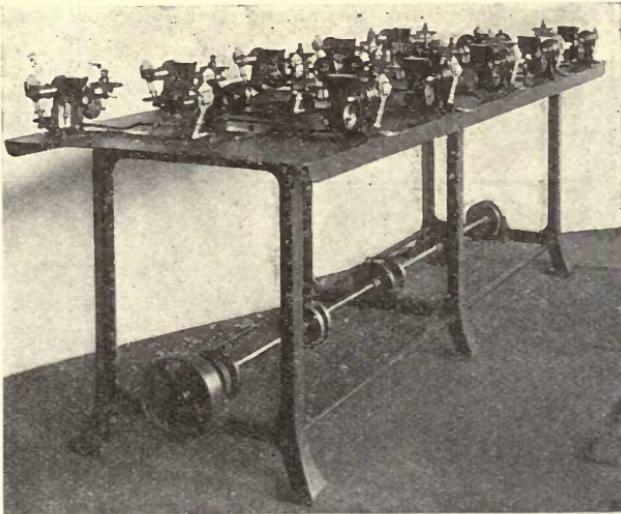


Fig. 28. Mittel- und Feinzug für Wolframdraht, System W. Gladitz.

650<sup>0</sup> C beim Ziehen von Drähten von 0,65 bis 0,45 mm, 500<sup>0</sup> bei Drähten bis 0,25 mm, bei noch kleinerem Durchmesser schließlich nur 400<sup>0</sup> C. Die Vorrichtung zum Ziehen des Wolframdrahtes in der Wärme ist in der Patentschrift der G.E.C. beschrieben und ist vollkommen zweckentsprechend. Danach befindet sich der in der

üblichen Form in Messing gefaßte Ziehstein in einem Ziehhalter und wird durch einen kreisbogenförmigen Gasbrenner erhitzt (Fig. 29). Der Draht passiert kurz vor dem Eingang in den Ziehstein ein zylindrisches, geschlitztes Metallstück, welches gleichfalls durch einen Gasbrenner auf die gewünschte Temperatur erhitzt wird. Das Ziehen der ganz dünnen Drähte wird mit Hilfe

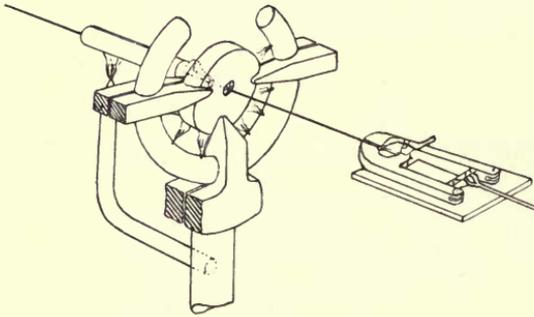


Fig. 29.

besonders konstruierter Präzisionszugmaschinen ausgeführt. Fig. 30 stellt eine solche Maschine, von Fr. W. Gladitz, Berlin-Treptow, vertrieben, dar. Diese Maschine ist zum Ziehen der allerfeinsten Wolframdrähte bis herunter zu 0,008 mm geeignet. Der Zug ist

mit Friktionsantrieb versehen, so daß er während des Betriebes in seiner Geschwindigkeit beliebig reguliert werden kann. Außerdem ist eine Reibungskupplung vorgesehen, welche sich so feinfühlig

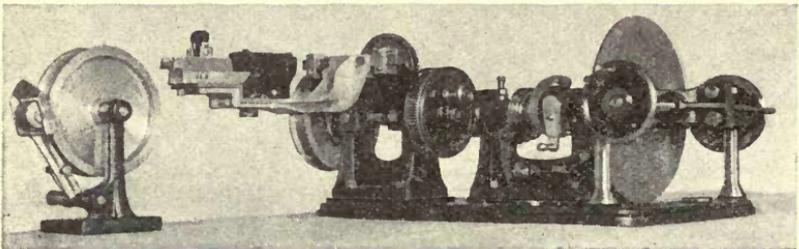


Fig. 30. Präzisionszugmaschine für die feinsten Wolframdrähte.

einstellen läßt, daß der feine Draht bei entstehenden Störungen nicht sofort abreißt. Damit die Drähte in die Ziehsteine eingeführt werden können, müssen diese angespitzt werden, da die Düse, durch welche der Draht gezogen werden soll, notwendigerweise einen kleineren Durchmesser als der Draht besitzt. Das Anspitzen könnte wohl mit einer Karborundscheibe gelingen, jedoch ist diese Methode zum Anspitzen der sehr dünnen, harten und außerordentlich zähen Drähte kaum gut verwendbar. Nach vorhandenen Patenten und Anmeldungen (engl. Pat. 3981, 1910, British Thomson Houston Co.; deutsche Anm. A. 19995, 1/7b vom 14. Januar 1911, A.E.G.) werden für diesen Zweck mit großem Vorteil rein chemische Methoden angewendet. Am besten

bewährt sich dafür ein Bad eines geschmolzenen, oxydierenden Salzes, wie Kalium- oder Natriumnitrit. Beim Eintauchen eines Wolframdrahtendes in ein solches Bad tritt dessen sofortige Oxydation und die Auflösung des gebildeten Oxydes ein, so daß in kürzester Zeit der Draht gleichmäßig angespitzt wird. Auch mit einem Kalium- und Natriumnitratbad läßt sich das Anspitzen von Wolframdrähten bewirken. In diesem Falle muß man dem Bade Verdünnungsmittel, wie Alkalichloride oder Hydroxyde, hinzufügen, da das Nitrat, wenn allein verwendet, so stark wirkt, daß die Oberfläche des Metalls rauh wird. In der Praxis scheint sich das Bad von geschmolzenem käuflichen Natriumnitrit am besten bewährt zu haben. Das Salzbad löst das Wolfram so rasch auf, daß es für dünnere Drähte nötig erscheint auch diesem Bade Verdünnungsmittel, wie Kochsalz oder Aetznatron zuzusetzen. Für sehr dünne Drähte kann auch konzentrierte Zyankalilösung, in welche der Draht als Anode für ganz kurze Zeit eingetaucht wird, verwendet werden. Die Julius Pintsch-Akt.-Ges. spitzt Wolframdrähte in der Weise an (D.R.P. 251836), daß die Drahtenden in einem Bunsenbrenner einfach so hoch erhitzt werden, bis sie sich mit Oxyd bedecken. Die Oxydschichten werden sodann auf mechanischem Wege entfernt und das verjüngte Ende bloßgelegt. Diese Methode ist kaum so praktisch, als die vorhin erwähnten. Das Anspitzen verläuft nicht so sauber und gleichmäßig, auch nicht schneller als in dem Nitritbad, außerdem wird das Drahtende, welches für die Oxydation notwendigerweise hoch erhitzt werden muß, sehr leicht spröde und brüchig, so daß unter Zeit- und Materialverlust wiederholt neue Spitzen gemacht werden müssen. Die Firma J. Kremenezky in Wien hat auch ein Patent für Anspitzen von Wolframdrähten angemeldet (österr. Patentanmeldung A. 2903, 1912, vom 28. Dezember 1911). Die Firma verwendet als Ätzmittel ein Gemisch von verdünnter Salpetersäure und Flußsäure, in welches die anzuspitzenden Drahtenden eingetaucht werden. Dasselbe Patent wurde in Deutschland von Dr. L. Weiß am 15. April 1912 angemeldet (Aktenzeichen W. 39545, Kl. 48 d).

Ein besonderes Verfahren zum Anspitzen von Wolframdrähten gibt die Westinghouse Metallfaden-Glühlampenfabrik in der österr. Anmeldung 3482 vom 23. April 1912 an. Nach dieser Erfindung wird der anzuspitzende Wolframdraht als Kathode in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht, in welcher sich als Anode eine Metallplatte befindet. Schickt man bei dieser Anordnung einen stärkeren elektrischen Strom hindurch (etwa 25 bis 30 Ampere pro Quadrat-

millimeter), so wird das eintauchende Drahtende zum Glühen gebracht und in kürzester Zeit zugespitzt.

Als Schmiermittel für das Ziehen von Wolframdraht benutzt die G. E. C. Aquadag, eine Suspension von entfloctem Achesongraphit in Wasser, wie es überall im Handel erhältlich ist. Der Draht passiert ein Reservoir, in welchem sich diese Graphitschmiere befindet; beim Durchgang durch den geheizten Metallzylinder verdampft das Wasser aus dem Aquadag und es bildet sich eine dünne Schicht von feinverteiltem Graphit an der Oberfläche des Drahtes, welche den Draht sowohl vor der Oxydation schützt, als auch seinen glatten Durchgang durch den Ziehstein bewirkt. Das Ziehen geschieht an freier Luft, da bei der relativ niederen Ziehtemperatur und Anwendung der Graphitschmiere jede Oxydation vermieden wird.

Die Verwendung der Graphitschmiere für die Wolframdrahtzieherei wurde auch von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (A. E. G.) in Berlin in einer Patentanmeldung (deutsche Patentanmeldung A. 20831 vom 1. Juli 1911) genau beschrieben. Der besondere Vorteil bei der Anwendung der Graphitschmiere ergibt sich dadurch, daß der an die Oberfläche des zu ziehenden Wolframdrahtes aufgetragene und dort eingebrannte äußerst fein verteilte Graphit beim Ziehprozeß die Düse mitpassiert, während ein gewöhnliches Öl vor der Düse zurückbleibt und keine Schmierwirkung ausüben kann, ganz abgesehen davon, daß es bei den in Betracht kommenden Temperaturen überhaupt verbrennen würde. Bei der Anwendung des Aquadags empfiehlt die Firma einen Zusatz von etwa 10 % Ammoniumsulfid. Das Schmiermittel, welches in der Konsistenz einer dünnen Salbe auf einem Baumwollpfropfen sich befindet, wird auf den Wolframdraht, welcher den Baumwollpfropfen passiert, aufgetragen. Hierauf wird das Schmiermittel auf den Draht eingebrannt, wobei ein glatter festhaftender Ueberzug entsteht. Noch vorteilhafter scheint es zu sein, den Draht unmittelbar vor dem Eintritt in das Schmiermittel durch eine Gasflamme auf dunkle Rotglut zu erhitzen, da das Schmiermittel beim Passieren des erhitzten Drahtes noch besser an seine Oberfläche festbäckt. Natürlich ist es auch wünschenswert, daß die zum gleich darauffolgenden Ziehen des Drahtes verwendeten Diamantdüsen gut abgerundete, polierte Eintrittsstellen besitzen, wodurch der Graphit auf der Drahtoberfläche zusammengepreßt und verdichtet wird und als glänzender, außerordentlich festhaftender Überzug die Düse verläßt. Der Graphit scheint als Schmiermittel beim Wolframdrahtziehen sich außerordentlich gut zu bewähren und dürfte kaum von einem anderen Schmier-

mittel übertroffen werden<sup>1)</sup>. Es wurden trotzdem noch andere Schmiermittel zum Patent angemeldet, welche sich angeblich ebenso gut bewähren sollen wie die Graphitschmiere. In einer Anmeldung (deutsche Patentanmeldung A. 21037 vom 15. August 1911) schlägt die A. E. G. die Verwendung von passenden Wolframverbindungen in Suspensionen als Schmiermittel vor. Die Wolframverbindungen, wie das als feines, weiches, graphitähnliches Pulver erhältliche Wolframsulfid ( $WS_2$ ), oder die von Pacz (siehe S. 46) angegebene kolloidale organische Wolframverbindung ( $H_6W_2C_9O_3$ ), besitzen neben der guten Schmierwirkung die angenehme Eigenschaft, durch Erhitzen im Vakuum oder im Wasserstoff unter Zurücklassung von reinem Wolframpulver zu zerfallen, wodurch durch das Schmiermittel keine fremden schädlichen Bestandteile in den Draht gelangen, wie dies bei der Verwendung von Graphit vorkommen könnte. Die Deutsche Gasglühlicht-Akt.-Ges. schlägt in einem Patent (D. R. P. 261457 vom 13. August 1911) anorganische Schmiermittel für das Warmziehen von Wolframdraht vor. Als passende Verbindungen werden Polyphosphorsäure respektive Polyborsäure bezeichnet, sowie alle solche komplexe Verbindungen, die keinen bestimmten Schmelzpunkt besitzen, sondern innerhalb weiter Temperaturgrenzen als zähe Flüssigkeiten bestehen können. Solche Verbindungen werden in beliebiger Weise auf den Draht aufgetragen, geraten bei den zur Anwendung kommenden Ziehtemperaturen in den zähflüssigen Zustand und kommen beim Durchziehen durch die Düsen als Schmiermittel zur Geltung. Diese anorganischen Schmiermittel könnten gegenüber der Graphitschmiere nur den Vorteil der Kohlenstofffreiheit haben. Ihre Schmierfähigkeit scheint aber sehr viel schlechter zu sein, weshalb auch die D. G. A. den Zusatz von Graphitpulver empfiehlt. Dadurch entfällt natürlich der einzig noch mögliche Vorteil der Kohlenstofffreiheit. Die Bergmann-Elektrizitäts-Akt.-Ges. in Berlin löst in einer Patentanmeldung (deutsche Patentanmeldung B. 67512, Kl. 7b, vom 23. Mai 1912) das Problem der Schmiermittel für das Wolframziehen in der Weise, daß der Ziehstein, durch welchen der Wolframdraht gezogen wird, sich in einem Bade heißen Öles befindet. Es soll dabei angeblich möglich sein, das Ziehen des Wolframdrahtes bei der verhältnismäßig niedrigen Temperatur von etwa 300 bis 400<sup>0</sup> C zu bewirken, da der Draht bei der Führung durch das heiße

1) Von Interesse dürfte die in der Schrift: Graphite as a lubricant, herausgegeben von der Joseph Dixon Crucible Co. in Jersey, S. 59 befindliche Angabe sein, nach welcher „glänzende Resultate beim Drahtziehen durch den Zusatz von Graphit zu den Schmiermitteln erzielt wurden“.

Öl in seinem ganzen Querschnitt sehr gleichmäßig erhitzt wird. Das Heizöl oder andere bei diesen Temperaturen flüssige, passende Stoffe, dienen gleichzeitig als Schmiermittel. Auch die Regulierung der Ziehtemperatur soll nach diesem Verfahren viel leichter und genauer zu ermöglichen sein, wie bei der gewöhnlichen Erhitzung an freier Luft mit dem Gasbrenner. Das Verfahren der Bergmann-Elektrizitäts-Akt.-Ges. ist eigentlich kein gewöhnliches Schmiermittel-

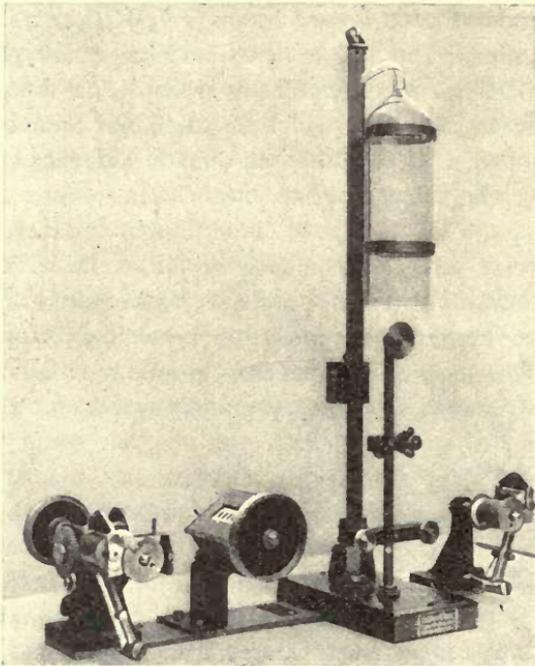


Fig. 31. Spul-, Glüh- und Oberflächenreinigungsapparat für Wolframdrähte.

patent, es stellt vielmehr ein regelrechtes Wolframziehverfahren vor. Dem Ziehverfahren eine größere Bedeutung zusprechen kann man wohl kaum. Jedenfalls steht dieses Verfahren dem gewöhnlichen Wolframziehverfahren an Eleganz und Sicherheit weit nach.

Der Wolframdraht läßt sich nach beschriebenem Verfahren zu äußerst dünnen Drähten, wie solche für die Glühlampenindustrie erforderlich sind, ausziehen. Man erreicht auf diese Weise bis 0,01 mm dünne Drähte. Der Draht wird nach beendetem Ziehen in einer Atmosphäre von reduzierenden Gasen auf etwa 1000<sup>0</sup> C erhitzt, wobei er von dem Graphitüberzug sowie der geringen Menge von Wolframoxyd befreit und ganz blank wird. Einen solchen sehr

gut geeigneten Spul-, Glüh- und Oberflächenreinigungsapparat, System Fr. W. Gladitz, stellt Fig. 31 dar. Den Wolframdraht kann man nun ohne weiteres für Glühlampenzwecke verwenden. Das Ziehen des Wolframdrahtes bis etwa 0,01 mm ist mit großen technischen Schwierigkeiten verbunden, und zwar vor allem deshalb, weil es außerordentlich schwierig ist, Diamantziehsteine mit solch feinen Bohrungen herzustellen. Die feinen Öffnungen in den Diamantdüsen müssen nicht nur absolut rund sein, sondern deren Durchmesser auf Bruchteile von Tausendstel Millimeter genau eingehalten werden, da eine richtig eingestellte Ziehstufenfolge des Diamantziehsteinsatzes von großer Wichtigkeit für ein klagloses Funktionieren des Ziehprozesses ist. Man muß also z. B. in der Nähe von 0,01 mm bei einer zweiprozentigen Ziehstufenfolge Diamantziehsteine von folgenden Durchmessern besitzen: 0,0110, 0,0108, 0,0106, 0,0104 usw. Solche geringen Unterschiede genauer festzustellen, ist außerordentlich schwer, das Mikroskop und Mikrometer fangen bereits früher an zu versagen. Man ist deshalb genötigt, eine große Anzahl von Diamantziehsteinen herzustellen und diese dann rein empirisch zu einem Satz mit Abstufungen zusammenstellen. Sind die Ziehsteine richtig eingereiht und deren Stufenfolge eingehalten, so funktioniert der Ziehprozeß gut. Infolge des Ziehens weiten sich die Steine allmählich etwas aus, jedoch geschieht es bei allen ungefähr im gleichen Tempo, so daß die Stufen doch richtig bleiben. Es heißt dann, der Satz rückt gleichmäßig hinauf. In solchem Falle ist es dann nötig, nur die letzten Steine des Satzes immer zu ergänzen. Zieht man also z. B. bis 0,01 mm, so muß man, wenn der Satz in Ordnung bleiben soll, immer wieder neue Ziehsteine von 0,01 mm Öffnung in den Satz einreihen. Das ist noch das idealste Verhalten eines Ziehsteinsatzes. In vielen Fällen kommt es vor, daß der Satz sich ungleichmäßig verändert, indem die einzelnen Ziehsteine sich verschieden stark durch den Gebrauch aufweiten und die am Anfang mühselig eingestellte richtige Ziehstufenfolge verloren geht. Oft kommt es auch vor, daß manche Ziehsteine rau werden und frisch nachpoliert werden müssen, wodurch sie dann natürlich nicht mehr in den Satz passen und deshalb rechtzeitig für Ersatz gesorgt werden muß. Brüche von Ziehsteinen kommen auch nicht selten vor. Wir sehen also, daß die Überwachung und Instandhaltung eines solchen Ziehsteinsatzes ungewöhnliche Mühen und Kosten verursacht, da man ein großes Lager von Ersatzsteinen bereithalten muß und an die Technik des Diamantbohrens Ansprüche gestellt werden, die die Grenzen der Möglichkeit überhaupt erreichen.

Die meisten großen Wolframlampenfabriken haben diese ungewöhnlich großen Schwierigkeiten überwunden und fabrizieren bereits die 16kerzige 260 Volt-Lampe, deren Leuchtkörper ungefähr einen Durchmesser von 0,01 mm besitzt.

Es fehlt natürlich nicht an Bestrebungen, diesen Schwierigkeiten, welche sich bei dem Ziehen von solch dünnen Drähten einstellen, durch Anwendung anderer Methoden auszuweichen. Nahelegend ist es, mit chemischen resp. elektrochemischen Mitteln relativ dicke Drähte in dünne umzuwandeln. Solche Methoden wurden bereits zum Dünnermachen von Osmiumfäden und der nach dem Spritzverfahren hergestellten Wolframfäden vorgeschlagen. Es zeigte sich aber dabei, daß die Ätzung solcher Drähte ungleichmäßig vor sich ging, und zwar hauptsächlich aus dem Grunde, weil die Gebilde zu grobkristallin waren. Die Ätzmittel greifen an verschiedenen Stellen verschieden stark an, da die einzelnen Kristalle in verschiedenen Richtungen verschieden stark löslich sind. Es entstehen deshalb aus vollkommen runden Drähten von gleichmäßigem Querschnitt Gebilde von durchaus ungleichem Querschnitt mit hervorstehenden Kristallkanten und Spitzen, tiefen Rissen und Furchen, also ein für Glühlampenzwecke völlig unbrauchbares Produkt. Anders scheinen jedoch die Verhältnisse bei dem nach dem Ziehverfahren hergestellten Wolframdraht zu liegen. Wie aus der Patentanmeldung von Otto Krause (österreich. Patentanmeldung A. 6212, 1911, vom 18. Juli 1911) zu entnehmen ist, wird ein solcher Draht durch verschiedene Ätzmittel in durchaus gleichmäßiger Weise angegriffen. Der Erfinder schlägt vor, von Drähten von 0,03 mm Durchmesser, welche sich verhältnismäßig leicht herstellen lassen, auszugehen und diese durch passende Ätzmittel, chemisch oder elektrochemisch, auf den gewünschten Durchmesser abzubauen. Als Ätzmittel werden vor allem alkalische, oxydierende Bäder empfohlen. Vorzugsweise soll sich dafür eine verdünnte alkalische Ferrizyankalilösung eignen. Auch andere Oxydationsmittel in alkalisch-wäßriger Lösung, wie Persulfate, Superoxyde, auch Kaliumpermanganat, sollen sich für den Zweck gut eignen. Der Draht wird zweckmäßig durch ein solches Ätzbad durchgezogen, wobei durch die Geschwindigkeit des Durchziehens die Ätzung und somit der zu erzielende Durchmesser bestimmt werden kann. Die gleiche Wirkung wie mit den alkalischen Oxydationsbädern kann man dadurch erzielen, daß man den Wolframdraht als Anode in ein alkalisches Bad einhängt. Der Draht wird in vielen zickzackförmigen Windungen durch das Bad unter Strom durchgezogen. Die erzielte Querschnittsverminderung

wird durch Widerstandsbestimmung an dem Draht festgestellt. Schließlich läßt sich die Querschnittsverminderung der Wolframdrähte auch dadurch erzielen, daß man die Wolframdrähte in geeigneten Gasatmosphären, wie z. B. Chlor, welche den Draht angreifen, auf so hohe Temperatur erhitzt, daß die entstehenden Wolframverbindungen, z. B. Wolframchloride, sich verflüchtigen. Mit diesen Methoden gelangt man nach Angaben des Erfinders zu Drähten von beliebig feinem Durchmesser, viel feiner, als man zu solchen auf mechanischem Wege durch direktes Ziehen oder nach dem Wollastonverfahren gelangen kann. Voraussetzung ist, daß die Querschnittsverminderung nur an solchen Wolframdrähten vorgenommen wird, welche durch andauernde Behandlung vermittelt Pressen, Hämmern, Walzen und Ziehen, wie solches überhaupt bei dem Wärmeziehverfahren geschieht, ein außerordentlich feines Kristallgefüge erhalten haben. Die Bedeutung der Erfindung scheint dem Verfasser nicht übermäßig groß zu sein. Vor allem ist noch immer, auch bei noch so feinem Kristallgefüge der Drähte, zu befürchten, daß bei solch starken Querschnittsverminderungen (1 : 3!) dieselben einen ungleichmäßigen Verlauf annehmen. Andererseits wissen wir ja, daß es der Technik jetzt schon gelungen ist, Drähte von 0,01 mm auf rein mechanischem Wege gut herzustellen. Es ist auch mit Sicherheit zu erwarten, daß die Technik des Feinziehens und Diamantbohrens noch weitere Fortschritte macht, so daß die jetzt noch bestehenden Schwierigkeiten mit der Zeit immer kleiner zu werden versprechen.

Das Wolframziehverfahren der G. E. C. hat begreiflicherweise in der Glühlampenindustrie eine Umwälzung hervorgerufen. Die Vorteile des Verfahrens liegen auf der Hand. Die große Einfachheit und Sicherheit des Verfahrens, welches gestattet, den Draht auf die billigste Weise herzustellen, sodann die völlig gleichmäßige Beschaffenheit und die hervorragende, lange ersehnte Biegsamkeit des Wolframdrahtes, welche eine ungewöhnlich große Vereinfachung der Glühlampenfabrikation mit sich brachte, haben es bewirkt, daß dieses Verfahren in erfolgreichster Weise mit allen bisher bekannten Verfahren konkurrieren, ja in kürzester Zeit diese fast vollständig verdrängen konnte. Natürlich wurden dadurch viele Glühlampenfabriken, welche das Ziehverfahren nicht benutzen durften, sehr geschädigt. Es lag deshalb im Interesse dieser Firmen, die Patentfähigkeit des Verfahrens der G. E. C. anzufechten, und jetzt scheint es tatsächlich nicht ausgeschlossen, daß sie darin auch Erfolg haben und zumindest eine starke Einschränkung des Schutzzumfanges durchsetzen werden.

Bei der ersten Überlegung erscheint diese Tatsache ein wenig befremdend. Man begreift nicht, wie es denn möglich sein kann, daß ein Verfahren, welches eine derart umwälzende Neuerung und zweifellosen Fortschritt für die Industrie bedeutet, nicht patentfähig sein könnte. Bei näherer Betrachtung aber erscheint das Verfahren der G. E. C. tatsächlich kaum als patentfähig (Dr. N. L. Müller, Über das Wolfram und die Geschichte seiner Duktilisierung. Vortrag, gehalten am 3. März 1913 im Niederösterreichischen Gewerbeverein in Wien; „Zeitschr. f. angew. Chemie“ 1913, S. 404 u. 422). Da diese Frage für die Glühlampenindustrie von größtem Interesse ist, wollen wir sie auch hier kurz diskutieren. Vor allem muß hervorgehoben werden, daß die Herstellung von Wolframdraht auf mechanischem Wege durch Hämmern, Walzen und Ziehen in der Wärme und die Verwendung des Drahtes für Glühlampenzwecke überall, mit Ausnahme von England, jedermann freisteht. Wissen wir doch, daß die G. E. C. bereits im Jahre 1906 und 1907 in England solche Patente erhalten hat (engl. Pat. 21513, 1906; 16530, 1907) und in anderen Staaten ähnliche Patente nicht erlangen konnte. Auch die Ursache, weshalb der G. E. C. in fast allen Staaten der Patentschutz für das Ziehen des Wolframs in der Wärme versagt wurde, sind ganz klar. Es lagen bereits seit langem Erfahrungen, Versuche und Publikationen vor, welche als einzige Möglichkeit für die Herstellung des Wolframdrahtes auf mechanischem Wege die Verarbeitung des Wolframs in der Wärme bezeichnet haben. Es war vor allem die Furcht vor der Durchführung der mühsamen Versuche und die nicht genügende Vertrautheit mit der Technik des Ziehens und Walzens, welche die Erfinder vor dem Betreten dieses Arbeitsgebietes abschreckte. Die G. E. C. hat sich nun hier das zweifellose Verdienst erworben, dieses schwierige Arbeitsgebiet betreten und die vorgezeichneten Probleme in der konsequentesten Weise durchgeführt zu haben. Wohl mag die Firma bei dieser Gelegenheit einige zweckentsprechende Vorrichtungen und Apparate gebaut und Mittel aufgefunden haben, welche das Ziehen des Wolframs in der Wärme erleichtern, eine schöpferische Leistung, die Vorbedingung einer jeden Erfindung, war jedoch darin kaum enthalten. Die G. E. C. war sich der Schwäche dieser Patente bewußt und versucht den Schein einer erfinderischen Tätigkeit dadurch zu erwecken, indem sie die längst und allen bekannte Tatsache, daß das Wolfram in der Wärme duktil wird, als eigene Beobachtung für sich in Anspruch nimmt (siehe S. 63). Merkwürdigerweise hat damals die G. E. C. nicht die Beobachtung gemacht, daß das Wolfram

durch die mechanische Behandlung in der Wärme als Draht schließlich auch bei gewöhnlicher Temperatur duktil und biegsam wird. In den Patenten beschreibt die Firma Vorrichtungen, die es ermöglichen sollen, den spröden Draht im warmen Zustande auf Lampengestelle aufzuwickeln, was zweifellos für die Sprödigkeit des damals hergestellten Drahtes spricht. Heute wissen wir natürlich, daß die mechanische Behandlung, d. i. Hämmern, Walzen und Ziehen der Wolframstäbe in der Wärme, fast wie eine Naturnotwendigkeit zu einem bei gewöhnlicher Temperatur duktilen Wolframdraht führen muß. Es ist deshalb schwer, den Grund zu finden, warum die G. E. C. die lange Zeit hindurch, bei der versuchsmäßigen Ausführung ihres Verfahrens, zu keinem, bei gewöhnlicher Temperatur duktilen Wolframdraht gelangt ist. Die einzige Erklärung, die der Verfasser dafür finden kann, ist, daß die Versuche mit nicht genügend reinem, vor allem sauerstoffhaltigem Wolfram ausgeführt wurden. Dies ist auch daraus zu schließen, daß die Firma in den neuen Patenten, in welchen sie bereits über die Duktilisierung des Wolframs berichtet, auf die besondere Bedeutung der vollständigen Reduktion der für die Drahtherstellung bestimmten Wolframstäbe, unter Angabe der verschiedenen hierzu führenden Maßregeln, hinweist. Untersuchen wir nun das Patent der G. E. C. vom Jahre 1909 auf die Patentfähigkeit, so müssen wir dessen Kernpunkt darin erblicken, daß durch die andauernde Behandlung des Wolframs in der Wärme, wie es bei der Verarbeitung eines Wolframstabes durch Hämmern, Walzen und Ziehen geschieht, schließlich ein bei gewöhnlicher Temperatur duktiler Wolframdraht resultiert. Das ist aber nur eine Erscheinung, die sich bei der Ausführung des in den Patenten von 1906 und 1907 beschriebenen Verfahrens von selbst ergibt. Bei der Vorprüfung der Patentanmeldung in Österreich, welche in sehr sachgemäßer Weise ausgeführt wurde, wurde besonderes Gewicht darauf gelegt, festzustellen, welche neuen Bedingungen es waren, durch deren Einführung es der G. E. C. gelungen ist, die Duktilität des Wolframs zu erzielen. Es stellte sich dabei heraus, daß als die wichtigsten Punkte des neuen Verfahrens das Ziehen des Drahtes in feinen Stufenfolgen, die Verwendung eines grobkörnigen, spezifisch schweren Wolframpulvers und schließlich die Verwendung des Graphits als Schmiermittel zu betrachten wäre. Diese Punkte allein sind in den Patentansprüchen der österreichischen Patentanmeldung angeführt. Sollte es im Einspruchsverfahren noch gelingen, die Präzisierung der Angaben bezüglich der Größe der nötigen Ziehstufenfolge und Beschaffenheit des Wolframpulvers durchzusetzen,

so hätten wir das Patent der G. E. C. in die gehörigen Grenzen zurückgewiesen. Den Fachleuten selbst wird es klar sein, daß es auf die von der G. E. C. beanspruchten Bedingungen nicht unbedingt ankommt, um zum duktilen Wolframdraht zu gelangen. In England und Deutschland ist der Schutzzumfang des Patentes der G. E. C. etwas größer, vor allem deshalb, weil die Ansprüche nicht genügend klar formuliert sind. Sollte nun das Patent der G. E. C. in dieser Form zu Recht bestehen, so würde es danach verboten sein, gezogenen duktilen Wolframdraht als Leuchtkörper zu benutzen, trotzdem die Warmbehandlung, welche notwendigerweise zur Duktilisierung des Wolframs führt, jedermann zur Ausübung freisteht. Es ist leicht begreiflich, daß sich die interessierten Firmen gegen die Erteilung eines solchen Patentes mit aller Energie wehren.

In der Technik werden fast sämtliche Metalle in der Hitze mechanisch behandelt, und dies geschieht nicht nur wegen der ganz enormen Ersparnis an Arbeit, die sich bei der Behandlung der in der Wärme ganz weich gewordenen Metalle erzielen läßt, sondern hauptsächlich aus dem Grunde, weil das rohe, unbearbeitete Metall gewöhnlich viel zu grobkristallin ist und beim Walzen und Ziehen bei gewöhnlicher Temperatur sehr bald in Stücke zerfallen würde. Durch das Hämmern, Walzen und Ziehen in der Wärme lassen sich die Metallkristalle, ohne ihren Zusammenhang zu verlieren, in ganz kleine Kristalle zertrümmern, und es entsteht eine feinkristalline Struktur mit vielen Gleitflächen, welche die Dehnbarkeit der Metalle bei gewöhnlicher Temperatur bedingt. (Über die Bedeutung und Art der Wirkung solcher Gleitflächen siehe die sehr interessante Arbeit von Tammann; „Zeitschr. f. Elektrochemie“ 1912, S. 584). Die beim Wolfram beobachtete Erscheinung, welche die Grundlage des von der G. E. C. angestrebten Patentes bilden soll, bedeutet somit keine Auffindung eines Ausnahmefalles, sondern im Gegenteil nur die Bestätigung einer allgemein gültigen Regel. Auch hier kann nachgewiesen werden, daß die erzielte Duktilität auf die Veränderung der ursprünglich grobkristallinen Struktur in feinkristalline zurückzuführen ist. Es könnte noch vorgehalten werden, daß die meisten anderen Metalle bereits vor ihrer Verarbeitung in der Wärme einen gewissen Grad von Duktilität besitzen, während das Wolfram vor seiner Verarbeitung gänzlich spröde ist und seine Duktilität, voll und ganz, nur als das Resultat der Warmbehandlung zu betrachten sei. Diesen Einwand kann man jedoch auch nicht gelten lassen. Die Wolframduktilisierung ist nicht dem Wesen nach, sondern nur graduell von der Duktilisierung der anderen Metalle verschieden.

Oft recht beträchtliche graduelle Unterschiede der ursprünglichen Duktilität sind auch bei den übrigen Metallen gut bekannt. Anzeichen sind auch vorhanden, welche die Vermutung zulassen, daß das Wolfram, wenn nur genügend rein und sauerstofffrei, eine sogar recht beträchtliche, ursprüngliche Duktilität besitzt, so daß es auch bei gewöhnlichen Temperaturen verarbeitet werden könnte. Niemand wird natürlich auch unter solchen Umständen freiwillig auf die Vorteile der Warmbehandlung verzichten wollen. Der Verfasser konnte vor einiger Zeit („Zeitschr. f. angew. Chemie“ 1913, S. 404 u. 422) über ein Patent berichten, welches viel Ähnlichkeit mit dem Patent der G.E.C. besitzt und als Neuheitsschädlich für dieses Patent betrachtet werden könnte. Es ist dies das Patent von J. W. Staite (engl. Pat. 12212, 1848), in welchem der Erfinder über die Herstellung des Iridiumdrahtes für eine Iridiumdrahtlampe berichtet. Dieses als spröde bekannte Metall duktilisiert der Erfinder in einer der Wolframduktilisierung völlig identischen Weise. Er unterwirft dieses Metall einer längeren Behandlung in der Hitze, walzt und hämmert es so lange, bis das Metall durch die Behandlung genügend „annealed“, d. i. nachgelassen, also weich geworden ist für die nachfolgende Formgebung bei gewöhnlicher Temperatur. In der wortgetreuen Übersetzung lautet die Stelle aus der Patentschrift: „Ich schmelze Iridiumoxyd in einem Probiertiegel aus Beinsche unter dem Voltaischen Bogen, wodurch dieses der höchsten uns bekannten Hitze ausgesetzt wird. Nachdem ich ein Werkstück des Metalls erhalten habe, setze ich dasselbe einer konstanten Wärmewirkung aus, um es auszuglühen, und zu diesem Zwecke benutze ich eine oder mehrere Knallgasgebläseflammen. Wenn das Werkstück weißglühend ist, walze oder hämmere ich dasselbe und wiederhole das Verfahren immer wieder, bis das Metall genügend nachgelassen (weich) ist, um in die gewünschte Gestalt bearbeitet werden zu können.“ Dabei handelt es sich nicht nur um Versuche, sondern um einen tatsächlichen Erfolg, den es Staite gelungen ist, zu erzielen. Ich finde in einer englischen Publikation von J. J. Fahie, M. I. E. E., welche auf authentischen Berichten basiert, daß im Jahre 1850 J. W. Staite bei seinen zahlreichen öffentlichen Vorträgen eine derart hergestellte Iridiumdrahtlampe im Betrieb vorführen konnte. Nach all den angeführten Tatsachen glaubt der Verfasser nicht, daß die bereits erteilten und angemeldeten Patente der G.E.C. einer strengen Prüfung werden standhalten können.

Nach der Bekanntmachung des Wolframduktilisierungspatentes der G.E.C. wurde eine ganze Reihe von Patenten von verschiedenen

Firmen angemeldet, welche teils die Duktilisierung des Wolframs auf anderem Wege zu bewirken suchen, zum Teil weitere Verbesserungen des Stammpatentes darstellen sollen. Harry und Ulrich Bressler (franz. Pat. 447585 vom 23. August 1912) gehen, um die Schwierigkeiten, welche sich beim Pressen der Wolframstäbe aus Wolframpulver einstellen, zu vermeiden, nicht vom reinen Wolframpulver aus, sondern von einer Verbindung, welche aus Wolfram, Stickstoff und Wasserstoff besteht. Sie reduzieren zu diesem Zwecke Wolframtrioxyd in reinem trockenem Ammoniakgas so lange, bis das entströmende Reduktionsmittel keinen Wasserdampf mehr enthält. Das auf diese Weise hergestellte schwarze, samtartige Pulver, welches je nach der Herstellungstemperatur nur aus Wolfram und Stickstoff oder Wolfram, Stickstoff und Wasserstoff besteht, läßt sich bereits bei niedrigem Drucke zu Körpern von großer mechanischer Festigkeit zusammenpressen. Die Stäbe müssen in einer inerten Atmosphäre langsam auf Weißglut erhitzt werden, damit sie den elektrischen Strom gut leiten können. Sodann werden die Stäbe durch den Durchgang eines elektrischen Stromes in einer reduzierenden Atmosphäre erhitzt und fertig gesintert. Die Stäbe sollen alsdann einen matten Glanz, eine grobkörnige Struktur besitzen und sollen auch vollkommen duktil sein. Allerdings sagen die Erfinder nicht, ob die Stäbe bei gewöhnlicher Temperatur, vor der Behandlung bereits, die Duktilität besitzen oder erst durch die Warmbehandlung duktilen Draht liefern. Es dürfte sicher das zweite der Fall sein, da die Erfinder gar keinen Anlaß hätten, die Erreichung eines solchen Effektes, wie die ursprüngliche Duktilität bei gewöhnlicher Temperatur, zu verschweigen, ja überhaupt unbetont zu lassen.

Patent von Dr. Paul Schwarzkopf und Siegfried Burgstaller (franz. Pat. 448229 vom 13. Juni 1912). In diesem Verfahren wird beschrieben, wie man zu möglichst feinkristallinen Gegenständen aus Wolfram bei Anwendung verhältnismäßig niederen Sinterungstemperaturen gelangen kann. Die Erfinder gehen von der Annahme aus, daß das Sintern der aus reinem Wolframpulver gepreßten Stäbe darauf beruht, daß bei hohen Temperaturen ein Wachsen der größeren Wolframkristalle auf Kosten der kleineren vor sich geht. Nach den physikalischen Gesetzen besitzen kleine Partikeln eines und desselben Körpers einen höheren Dampfdruck als die größeren, so daß eine Art Destillation der feineren Körner auf die größeren stattfindet, welche nunmehr auf Kosten der feinen Körner wachsen und diese schließlich ganz aufzehren. Damit aber ein solcher Vorgang mit genügend großer Geschwindigkeit vor sich

geht, ist es nötig, daß der Körper einen verhältnismäßig hohen Dampfdruck besitzt. Will man nun einen solchen Vorgang in einem aus reinem Wolfram gepreßten Stab hervorrufen, d. i. das Sintern desselben bewirken, so muß man den Stab auf eine außerordentlich hohe Temperatur erhitzen, da das Wolframmetall nur bei den höchsten Temperaturen verdampfbar ist. Sintert man hingegen einen gepreßten Stab aus Wolframpulver, dem geringe Mengen Wolframoxyd zugesetzt wurden, in reduzierender Atmosphäre, so erhält man schon bei relativ tiefen Sinterungstemperaturen (1400 bis 1600<sup>0</sup> C) sehr kompaktes, festes Wolframmetall. Die Sinterung wird auf diese Weise vorgenommen, daß die gepreßten Stäbe auf Karborundumschiffchen durch einen elektrischen Röhrenofen bei gleichzeitiger Spülung des Ofens mit reinem oder mit Stickstoff verdünntem Wasserstoff in entgegengesetzter Richtung zur Gasströmung geschoben werden. Die Reduktion muß sehr langsam verlaufen, wenn sich die Einwirkung des Oxydzusatzes auf die Sinterungsfähigkeit geltend machen soll. Die Vorgänge, die sich bei dem Reduktions-Sinterungsprozeß abspielen, sind folgende: Die Wolframmetallkristalle wachsen auf Kosten des Wolframoxyds, welches zu Metall reduziert wird. Gleichzeitig oxydiert der von der Reduktion der Oxyde herrührende Wasserdampf die kleineren Wolframkristalle (die den größeren Wolframampfdruck besitzen), das neu gebildete Oxyd verdampft und schlägt sich wieder bei gleichzeitiger Reduktion als Metall auf die größeren Wolframkristalle nieder. Der Sauerstoff spielt also bei diesem Vorgang die Rolle eines Überträgers der Materie der feinen Wolframkristalle auf die größeren, verursacht somit das Wachsen der letzteren, also die Sinterung. Da die Wolframoxyde viel höheren Dampfdruck besitzen als das reine Wolfram, so ist es möglich, den Sinterungsprozeß bei viel niedrigeren Temperaturen auszuführen. Der Vorgang kann auch dadurch unterstützt werden, daß man dem Reduktionsgas kleine Mengen von Sauerstoff oder Wasserdampf zusetzt, wobei jedoch der Sauerstoffdampfdruck der Reduktionsatmosphäre immer ein wenig tiefer sein muß als der Sauerstoffdampfdruck der Wolframoxyde, da sonst überhaupt keine Reduktion möglich wäre. Nach den Angaben der Erfinder soll das Aussehen und die Eigenschaften der nach ihrer Methode bei tiefen Temperaturen gesinterten Stäbe genau die gleichen sein, wie bei den Stäben, welche aus reinem Wolframpulver bei den höchsten Temperaturen gesintert wurden. Sollen aber diese Wolframagebilde für den Gebrauch bei hohen Temperaturen, wie es bei den Glühlampen der Fall ist, bestimmt sein, so

erklären die Erfinder es doch für notwendig, eine höhere Sinterungstemperatur anzuwenden. Dadurch geht natürlich der ganze Vorteil der Erfindung für die Fabrikation der Wolframglühkörper verloren. Als großer Nachteil des Prozesses muß andererseits die Tatsache betrachtet werden, daß es nicht möglich sein dürfte, die nach solchem Vorgang hergestellten Wolframkörper vollkommen sauerstofffrei herzustellen, welcher Umstand die Duktilisierung der Wolframkörper nach bekannten Methoden nur erschweren, ja auch unmöglich machen kann. Das Verfahren dürfte demnach nur für die Herstellung von gesinterten Wolframkörpern als solchen, nicht aber für die Wolframdrahtfabrikation, einige Bedeutung besitzen. In demselben Patente schlagen auch die Erfinder vor, den Wolframkörpern kleine Mengen von anderen hochschmelzenden Metallen, wie z. B. Uran, zuzusetzen, wodurch ohne wesentliche Schmelzpunkterniedrigung eine Herabsetzung der Dampfspannung des Wolframs sowie dessen feinkristalline Struktur verursacht wird.

Die Westinghouse-Metallfaden-Glühlampenfabrik in Wien beschreibt ein Verfahren (engl. Pat. 12869), nach welchem man zu duktilem Wolfram gelangen kann. Zu diesem Zwecke wird der zu duktilisierende Stab nach der Sinterung einem langsam verlaufenden, einige Stunden dauernden Abkühlungsprozeß bei sehr hohem Druck unterworfen. Dies kann man z. B. dadurch erreichen, daß man den Wolframkörper in eine erhitzte Form setzt, welche sich bei der Abkühlung stark zusammenzieht und auf den Wolframkörper einen allseitig gleichmäßigen hohen Druck ausübt. Das gleiche kann man auch erreichen, indem man den zu duktilisierenden Wolframkörper in eine hochoverhitzte geschmolzene Masse, welche, wie z. B. Eisen, unter Volumvergrößerung erstarrt, einführt. Durch Abkühlung des Systems wird ein sehr hoher Druck auf den Wolframkörper ausgeübt. Der ganze Vorgang soll eine Art mechanischer Behandlung in der Wärme vorstellen, welche jedoch zum Unterschied von der gewöhnlichen Warmbehandlung außerordentlich gleichmäßig ist und ohne jede Formveränderung des behandelten Werkstückes vor sich geht.

Die Vereinigte Glühlampen- und Elektrizitäts-Akt.-Ges. in Ujpest hat in der ungarischen Patentanmeldung (Grundzahl I, 1409), in welcher das Thoriumdioxidverfahren zur Duktilisierung des Wolframs beschrieben ist, auch darauf hingewiesen, daß das aus Wolfram und Thoriumdioxid bestehende Pulver, wenn zu Stäben gepreßt und in richtiger Weise gesintert, Wolframkörper liefert, welche sich nach dem in den englischen Patentschriften Nr. 21513, 1906, und 16530, 1907, beschriebenen Warmziehverfahren viel

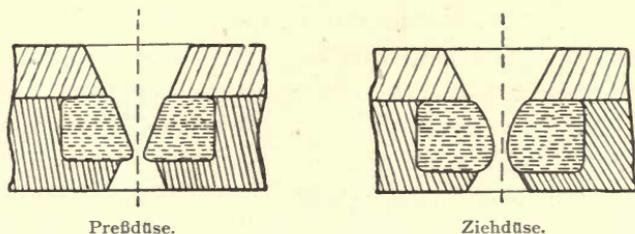
besser zu duktilem Draht verarbeiten lassen, als die aus reinem Wolframpulver hergestellten Stäbe. Da das Material von vornherein duktil ist, läßt es sich auch bei gewöhnlicher Temperatur auf Draht sehr gut verarbeiten. Ein anderes Verfahren zur Herstellung des duktilen Wolframmetalles gibt Dr. Rudolf Jahoda und die Elektrische Glühlampenfabrik „Watt“ in Wien in einer österreichischen Patentanmeldung an (A. 9861, 1911, vom 29. November 1911). Hiernach wird der aus Wolframpulver gepreßte Stab während des Sinterprozesses, also im Zustande der Erweichung, einem möglichst hohen Druck ausgesetzt. Dadurch wird ein inniges Verschweißen der hocherhitzten plastischen Wolframteilchen bewirkt, und es resultiert ein Wolframkörper, der in seinem Verhalten sehr ähnlich ist einem zum vollständigen Schmelzen gebrachten Gebilde und hervorragende Duktilität besitzt. Die Verarbeitung der auf die beschriebene Weise gesinterten Stäbe geschieht durch Pressen, Walzen und Ziehen bei hoher Temperatur, welche Operationen zweckmäßig an das Sintern angeschlossen werden. Ein ganz allgemeines Verfahren zur Herstellung von festen Körpern aus Metallpulvern durch Erhitzung und Pressung gibt Dr. Heinrich Leiser in Charlottenburg in einer österreichischen Patentanmeldung (A. 8060, 1912, vom 27. September 1912) an. Das Verfahren betrifft wohl alle in Pulverform gewinnbaren Metalle, soll aber für die Herstellung fester Körper aus den höchstschmelzenden Metallen, wie Wolfram, ganz besondere Vorteile bieten. Das Verfahren beruht darauf, daß die herzustellenden Metallkörper aus einem Gemisch von kristallinem und amorphem Metallpulver geformt und erhitzt werden. Die Verfestigung solcher Körper tritt bereits bei Temperaturen ein, bei welchen sich die Umwandlung der amorphen Bestandteile in die kristalline Modifikation vollzieht. Da die Temperatur des Kristallisierens weit unterhalb des Schmelzpunktes liegt, gelingt es bei verhältnismäßig tiefen Temperaturen, Körper aus höchstschmelzenden Metallen vollkommen fest zu sintern. So beträgt die zum Sintern von Wolframkörpern nötige Temperatur etwa  $1500^{\circ}$  C, wenn dieselben aus einem Gemisch von kristallinem und amorphem Wolframpulver bestehen. Wahrscheinlich dürften sich solche bei tiefen Temperaturen gesinterten Wolframstäbe bei der Verarbeitung wesentlich ungünstiger verhalten, als die bei den höchsten Temperaturen gesinterten Wolframstäbe. Dem Verfasser erscheint die Erfindung, ähnlich der von Dr. Schwarzkopf und Burgstaller, nur für die Herstellung fester Metallkörper an sich, aber nicht für die Drahtfabrikation von Bedeutung zu sein. Ähnlich verhält es sich mit dem Patent von Otto Voigtländer (engl. Pat. 9611, 1913). Der Erfinder

beschreibt in seinen Patenten ein Verfahren, nach welchem man Gegenstände aus Wolframmetall herstellen soll. Das Verfahren beruht darauf, daß Wolframtrioxyd mit Aluminium gemischt in einen möglichst hochoverhitzten Ofen gebracht wird. Es tritt die bekannte Reduktion des Wolframtrioxyds durch Aluminium zu Wolfram ein, wobei die von der Mischung entwickelte Reaktionswärme im Verein mit der Ofenwärme eine so hohe Erhitzung der Reaktionsprodukte hervorruft, daß das Wolfram zu einer vollkommen homogenen und von Fremdkörpern und Einschlüssen freien Masse zusammenschmilzt. Auf solche Weise erhält Voigtländer homogene Massen aus Wolfram von mehreren Kilogramm Gewicht, welche nach einer vorbereitenden mechanischen Behandlung, wie Hämmern, Walzen usw., beliebigen Verwendungszwecken sollen zugeführt werden können. Das Verfahren von Voigtländer dürfte jedenfalls kein vollständig aluminiumfreies Produkt liefern. Ob sich ein solches Material auch für Glühlampenzwecke eignet, ja überhaupt sich zu den erforderlichen ganz dünnen Drähten wird verarbeiten lassen, scheint dem Verfasser sehr zweifelhaft. Jedenfalls verspricht das Verfahren für andere gewerbliche Zwecke dort, wo es sich um größere Gegenstände aus Wolfram handeln sollte, vorausgesetzt, daß die in der Patentschrift enthaltenen Angaben tatsächlich zutreffen, ein recht brauchbares zu werden.

### Die Herstellung der Diamantziehsteine

Anschließend an die Fabrikation des Wolframdrahtes wollen wir auch die Fabrikation der Diamantziehsteine kurz besprechen. Die Herstellung der Diamantziehsteine stellt eine der schwersten und wichtigsten Aufgaben der modernen Glühlampenindustrie, da für die Herstellung des außerordentlich dünnen Wolframdrahtes eine große Zahl von Diamantziehsteinen erforderlich ist. Die Abnutzung der Ziehsteine ist infolge der verhältnismäßig großen Härte des Wolframdrahtes sowie der hohen Ziehtemperaturen sehr groß, so daß ununterbrochen an dem Ersatz der verbrauchten Steine gearbeitet werden muß, will man größere Störungen in der Fabrikation des Drahtes vermeiden. Hinzu kommt noch der vorhin besprochene Umstand, daß die Herstellung solch feiner Bohrungen im Diamant technisch große Schwierigkeit bereitet und die Grenzen der Möglichkeit fast erreicht. Die Herstellung der Diamantziehsteine und Düse ist außerordentlich interessant. Die Diamantpreßdüsen kamen für das Spritzverfahren, während für das Ziehverfahren die Diamantziehdüsen in Betracht kommen. Fig. 32 zeigt solche Diamantpreßdüsen und -ziehdüsen im Querschnitt. Zur Herstellung einer Diamant-

düse wird zuerst ein passender Diamant gewählt, dessen Größe sich nach der Düsenöffnung richtet. Für eine Düse, deren Bohrung 0,5 mm betragen soll, wird ein Diamant von etwa 2 Karat, 0,4 mm bis 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Karat, 0,3 mm bis 1 Karat Gewicht gewählt. Der Stein wird zuerst zu einer Platte geschliffen, sodann in eine entsprechende Metallfassung zentrisch eingepreßt und dem Prozeß des Bohrens unterworfen. Zuerst geschieht das Vorbohren. Mit einer schnell rotierenden natürlichen Diamantspitze werden konische Vertiefungen in den Diamanten von beiden Seiten gebohrt. Das Vorbohren wird nun mittels einer schnell rotierenden Stahlspitze, welche mit Diamantstauböl bestrichen wird, fortgesetzt. Damit die durch das Vorbohren erzeugten Versenkungen beim Übergang in das die beiden Erweiterungen verbindende gerade Loch keine scharfen Kanten bilden, verwendet man für das Vorbohren zweckmäßig zwei oder drei Stahl-



Preßdüse.

Fig. 32. Diamantdüsen.

Ziehdüse.

kegel, von welchen jeder folgende spitzer ist als der vorhergehende. Die Spitzen der durch das Vorbohren erzeugten Vertiefungen müssen sich genau in einer Linie befinden und einander möglichst nahekommen. Nun folgt die Operation des eigentlichen Bohrens. Eine außerordentlich fein zugespitzte Stahlnadel dreht sich sehr schnell in der vorgebohrten Vertiefung und führt gleichzeitig kleine hüpfende Bewegungen aus. Die konische Vertiefung ist mit einem in Öl angerührten feinsten Diamantstaub gefüllt. Durch die hüpfende Bewegung der Nadel werden immer neue Diamantstaubpartikelchen in die Vertiefung hineingerissen und treten zwischen die Nadelspitze und den zu bohrenden Diamanten. Dieser Vorgang ermöglicht erst überhaupt das Diamantbohren, da der Effekt desselben der gleiche ist, wie wenn das Bohren mit äußerst feinen Diamantspitzen ausgeführt würde. Die Stahlnadel spielt somit beim Bohren nur eine vermittelnde Rolle. Nach längerer Zeit — das Bohren ist überhaupt ein recht langwieriger Prozeß, insbesondere wenn es sich um längere Kanäle handelt — wird auf diese Weise die Spitze der gegenüberliegenden Vertiefung erreicht und eine Öffnung durchbrochen. Die

Öffnung ist keineswegs gleichmäßig und wird erst rund durch den nachfolgenden Polierprozeß.

Der Polierprozeß soll nicht nur ein absolut rundes Profil der Ziehsteinöffnung herbeiführen, sondern auch einen sanften, gleichmäßigen Übergang der Vertiefungen in den Ziehkanal bewirken. Das Polieren wurde früher oft in der Weise ausgeführt, daß der zu polierende Stein in Drehung versetzt und eine fein zugespitzte Stahlnadel, mit Diamantstauböl bestrichen, mit der Hand in bestimmter Weise bewegt wurde. Die Nadel soll beim Polieren eine aus drei verschiedenen Bewegungen zusammengesetzte Bewegung ausführen, und zwar eine langsam rotierende Bewegung, eine hin und her gehende Bewegung, durch welche in die Bohröffnung immer neuer Diamantstaub eingeführt wird, und schließlich eine schwingende Bewegung, Kegelbewegung, wobei die Kegelspitze mit der Nadelspitze zusammenfällt, während das obere Ende der Nadel einen Kreis beschreibt. Die schwingende Bewegung bezweckt, daß die nebeneinander verschieden weit von der Mittelachse entfernt liegenden Teile der Bohrwandung auch von der Nadel poliert werden, wodurch eben ein sanfter Übergang der trichterförmigen Vertiefungen in dem geraden Ziehkanal bewirkt wird.

Es wurde auch mit Erfolg versucht, die Handarbeit beim Polieren durch rein mechanische Vorrichtungen zu ersetzen. Eine solche Vorrichtung, welche die Nadel, während der Stein rotierte, auf und abwärts bewegte, sowie dieser auch eine Kegelbewegung erteilte, hat sich anfangs nicht gut bewährt, weil die Bewegungen zu starr waren und die von der Nadelspitze im Bohrloch umschriebene Kegelfläche in den meisten Fällen nicht mit dem Bohrkegel des Ziehsteines zusammenfiel.

Erst durch eine Verbesserung von Hensel & Schumann und R. Krause & Co. in Berlin (D. R. P. 226062, Kl. 67a, 1910) wurde eine brauchbare mechanische Schleifvorrichtung erzielt. Die Vorrichtung funktioniert in folgender Weise. In die Bohrung eines schnell umlaufenden Ziehsteines ist eine Nadel mit ihrer Spitze eingesetzt, während das obere Ende der Schleifnadel in einem wagenrecht hin und her gehenden Steg sich befindet, wodurch sie in eine in einer senkrechten Ebene liegende Schwingung versetzt wird. Gleichzeitig wird die Nadel beim Ausschwingen in ihre äußere Schräglage in zunehmendem Maße aus dem Loche herausgehoben (Fig. 33) und sitzt mit dem ihr und ihrem Halter entsprechenden Eigengewicht auf der Lochwandung auf. Da die Nadel frei, nicht starr, aufliegt, kann sie sich gut jeder Bohrwandung anpassen und

diese polieren. Sowohl beim Ausschwingen wie beim Zurückschwingen kommen nacheinander die verschieden weit von der Mittelachse des Bohrloches entfernt liegenden Teile der Bohrwandung in Bearbeitung, wodurch ein sanfter Übergang desselben in den Kanal bewirkt wird. In ihrer senkrechten Lage (Fig. 34) sinkt die Schleifnadel, so tief es die Lochweite gestattet, in das Loch hinein. Die Nadelspitze ist noch wesentlich dünner als die Lochweite, wodurch gleichzeitig auch der gegenüberliegende Lochkonus des Steines bei der Schräglage der Nadel berührt und poliert wird. Der Stein braucht deshalb nicht gesondert von beiden Seiten poliert zu werden. Natürlich muß bei dem beschriebenen Verfahren auch die Nadelspitze während des Arbeitens dauernd mit Diamantstauböl bestrichen werden.

Eine noch viel praktischere Vorrichtung zum Ausschleifen und Polieren der Drahtziehsteine gibt Dr. Schmidmer & Co. in Nürnberg-Schweinau an (D. R. P. 210310, 1909). Bei dieser Vorrichtung bildet

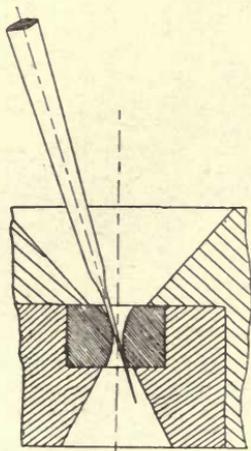


Fig. 33.

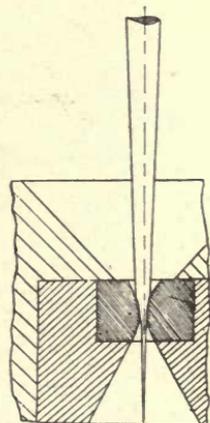


Fig. 34.

Polieren der Diamantziehsteine mit Schleifnadeln.

ein durch die Bohrung des Steines hindurchgesteckter, zu beiden Seiten eingespannter Metalldraht den Schleifstahl. Der Schleifdraht wird beim Schleifen mit Diamantstauböl bestrichen und hin und her geschoben, während die in Drehung versetzte, den Ziehstein tragende Platte gleichzeitig Schwingungen um die lotrechte Achse ausführt, so daß der Schleifdraht während des Ausschwingens des Steines nacheinander alle Teile der Bohrwandung berührt und poliert. Die Größe der Schwingung der Platte, welche während des Polierens den Ziehstein hält, kann beliebig reguliert werden, je nachdem man Ziehsteine für harte und zähe Drähte, also mit langem Ziehkanal, oder für weiches Material mit kurzen Kanälen haben will. Bei dem Verfahren von Dr. Schmidmer ergibt sich als Arbeitsgeschwindigkeit die Geschwindigkeit des Steines am Umfang der Bohrung, welche, in Anbetracht der Kleinheit der Bohrung, auch bei den höchsten technisch möglichen Umdrehungszahlen des Steines nur

eine verhältnismäßig geringe sein kann. Zur Erhöhung dieser Arbeitsgeschwindigkeit schlägt Dr. Schmidmer & Co. vor (deutsche Patentanmeldung Sch. 42408, Kl. 61a, vom 19. November 1912), dem Polierdraht neben der hin und her gehenden Vorschubbewegung auch eine dem Umdrehungssinn des Steines entgegengesetzte Schleifbewegung zu erteilen. In der Fig. 35 ist eine solche moderne, von Dr. Schmidmer & Co. in Nürnberg fabrizierte Diamantpoliermaschine dargestellt. Hier bedeutet *a* die Schnurlaufbüchse, an deren vorderen Stirnfläche der in einer Metallfassung befindliche Ziehstein durch Ankitten mit Wachs zentrisch befestigt wird; *b* und *c* sind kleine Klemmen, in welchen der durch den Stein gezogene

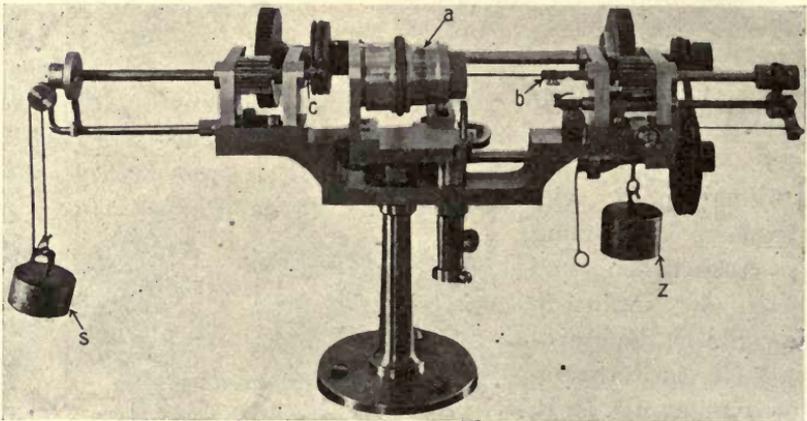


Fig. 35. Diamantziehstein-Poliermaschine nach Dr. Schmidmer.

Polierdraht beiderseits befestigt wird. Durch das Zuggewicht *Z* und Spannungsgewicht *S* wird der Polierdraht in gespanntem Zustande hin und her geführt, während die durch Zahnradübertragung versetzten Klemmen *b* und *c* dem Polierdraht gleichzeitig eine rotierende Bewegung erteilen. Fig. 36 zeigt die Einrichtung einer Diamantziehstein-Polierwerkstatt nach Dr. Schmidmer. Große Schwierigkeiten bereite bei dem Verfahren die Wahl des passenden Schleifdrahtes. Ein harter Stahldraht war in der kürzesten Zeit ausgeschliffen und zerrissen. Man mußte nun ein besonders zähes Metall finden, welches sich aber auch auf den außerordentlich feinen Durchmesser von weniger als 0,01 mm ausziehen ließe. Mit der Duktilisierung des Wolframs glaubte man im Wolfram ein entsprechendes Material gefunden zu haben. Der Wolframdraht zeigte aber die unangenehme Eigenschaft, aufzuspalten und in feine Faserteile zu zerfallen. Bei den Versuchen mit den Wolframlegierungen hatte man mehr Glück,

und es scheint, daß ein Nickelwolframdraht von bestimmter Zusammensetzung das idealste Material für den Schleifdraht darstellt. Mit

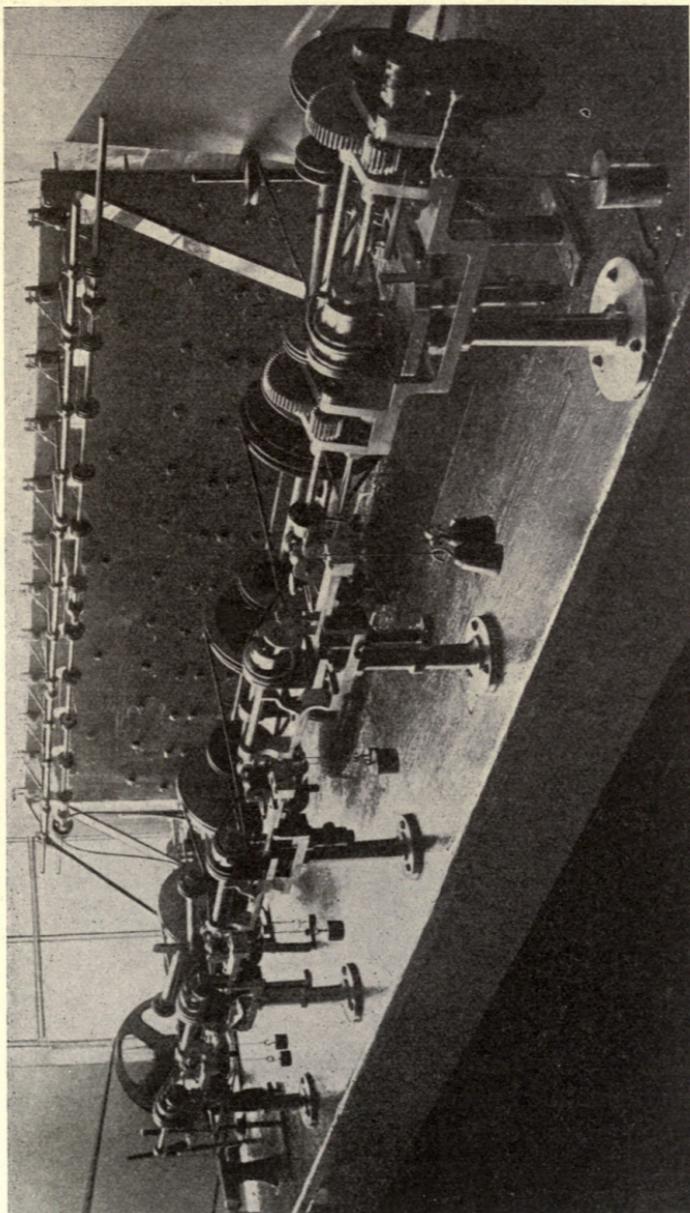


Fig. 36. Diamantziehstein - Polierwerkstatt.

der Vorrichtung von Schmidmer wird der Ziehstein in einer einzigen Operation beiderseits poliert (siehe Fig. 37), das Polieren

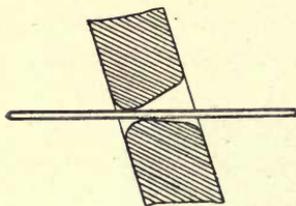


Fig. 37. Poliervorgang nach Dr. Schmidmer.

geht schnell vor sich, so daß die Kosten für das Aufpolieren eines Steines nur sehr geringe sind. Schwierigkeiten und Störungen, wie solche beim Schleifen mit Schleifnadeln durch Verbiegung, Abnutzung und Brechen der Nadel sehr oft vorkommen, sind bei dem Verfahren von Schmidmer natürlich ausgeschlossen.

### Bau der Wolframlampen.

Die Wolframlampen werden in außerordentlich vielen Typen fabriziert. Von den kleinsten Miniaturlampen, die für Taschenlampen und für medizinische Zwecke in der mannigfaltigsten Form in den Gebrauch gezogen wurden, bis zu den imposanten Hochkerzenlampen für 3000 Kerzen Lichtstärke, welche den Bogenlampen oft erfolgreich Konkurrenz

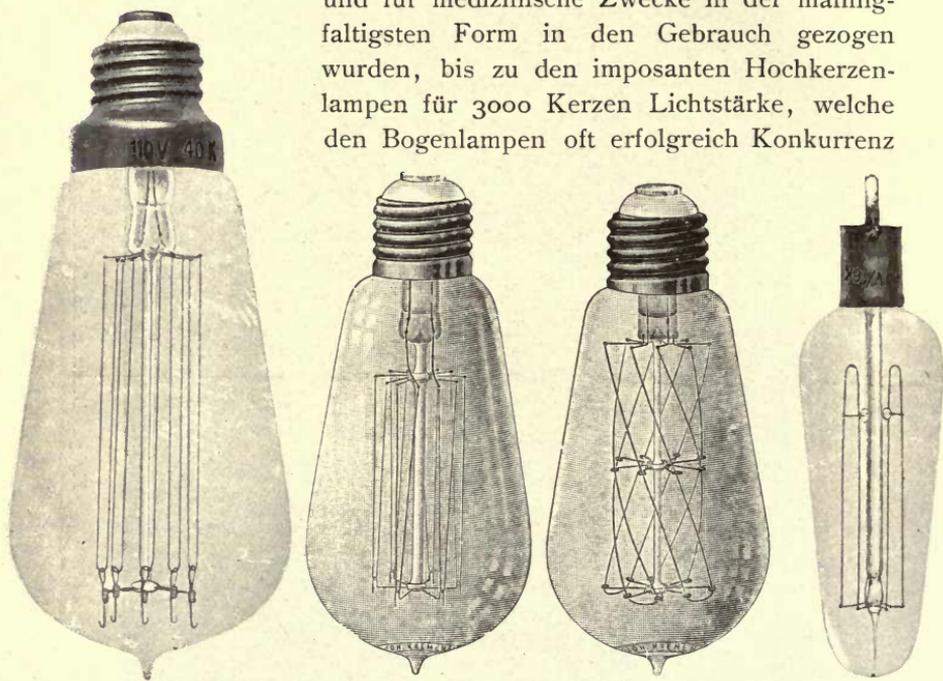


Fig. 38a. Ältere Wolframlampentypen.

bieten, werden die Lampen in Tausenden von Typen hergestellt. Hierbei variieren die Spannungen, mit welchen die Lampen betrieben werden, von 2 bis 260 Volt, ja es verlautet sogar, daß in Amerika bereits Lampen gebaut werden für Spannungen bis 500 Volt hinauf. Ebenso zahlreich sind die Formen der Glasglocken der Lampen, sowie die Art und Anordnung der Leuchtkörper in der Lampe selbst. Aus den Fig. 38a u. b, 39 u. 40 ersieht man ohne weiteres den Fortschritt, welcher in der kurzen Zeit im Bau der Lampen

gemacht wurde. Ganz besonders muß noch der Umstand betont werden, daß die modernen Lampen bei gleicher Lichtstärke wesentlich kleiner sind als die älteren Typen (siehe Fig. 41a u. b). Diese Ände-

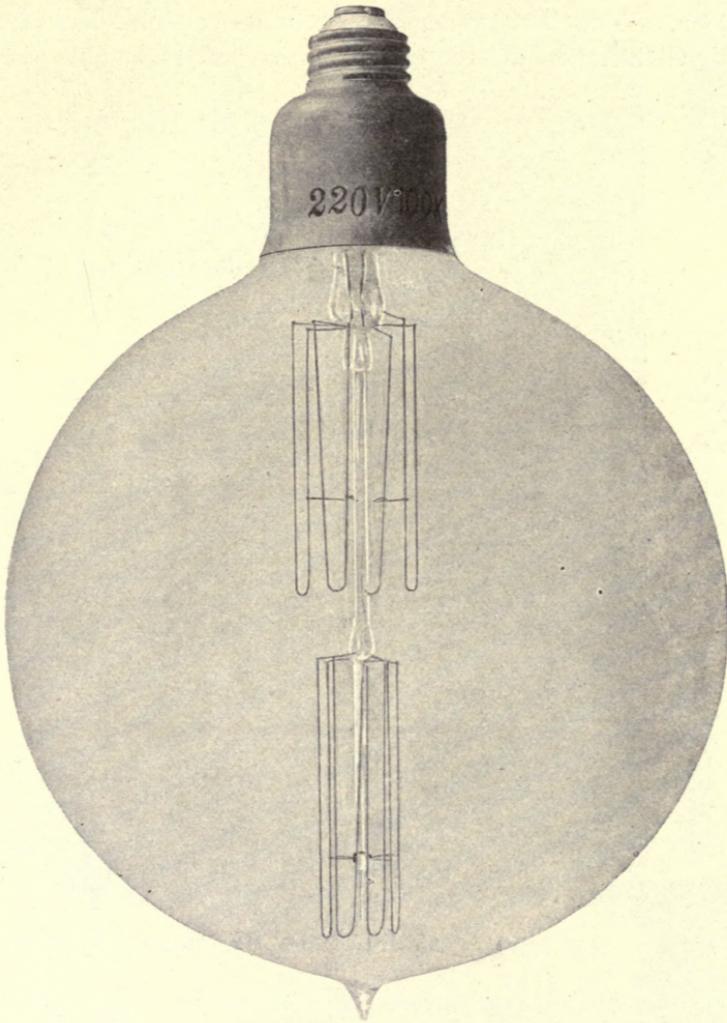


Fig. 38b. Ältere Wolframlampentype.

rung, durch welche nunmehr die Lampen eine sehr gedrungene und gefällige Form erhalten haben, bedeutet nicht nur einen rein glas-technischen Fortschritt. Jede Verkleinerung der Lampenglocke übt eine ungünstige Wirkung auf die Zerstäubung und die Beschlagbildung aus, schon aus dem Grunde, weil die Oberfläche, auf welcher das zerstäubte Leuchtkörpermaterial sich niederschlägt, auch kleiner

ist, somit auch der Beschlag bei sonst gleicher Zerstäubung dichter ausfallen muß. Da die modernen Wolframlampen trotz der geringeren Größe dieselbe Nutzbrenndauer wie die älteren Typen besitzen, so kann man schon daraus auf eine wesentliche Qualitätsverbesserung schließen. Einen sehr großen Fortschritt bedeutet die Tatsache, daß es der Glühlampenindustrie gelungen ist, niedrigkerzige Wolfram-

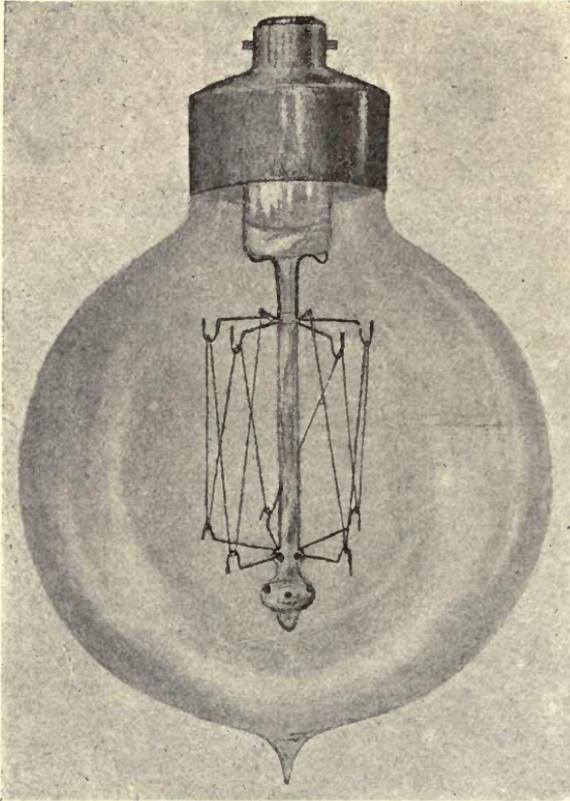


Fig. 39. Moderne 0,8 Watt Intensiv-Wolframfüllungslampe.

lampen für alle gebräuchlichen Spannungen zu bauen. Heute besitzen wir schon die 16kerzige 260 Volt-Lampe, deren Leuchtkörper einen Durchmesser von etwa 0,01 mm besitzt. Einen solchen Fortschritt hätte vor wenigen Jahren kaum jemand zu erhoffen gewagt. Damals wußte die Reduktor-Elektrizitätsgesellschaft m. b. H. dem Bedürfnis nach niedrigkerzigen, hochvoltigen Wolframlampen dadurch Rechnung zu tragen, indem sie kleine Transformatoren auf den Markt brachte, die sogen. Reduktoren, welche in Wechselstromnetzen die übliche Gebrauchsspannung auf 14 Volt zurückzubringen gestatteten.

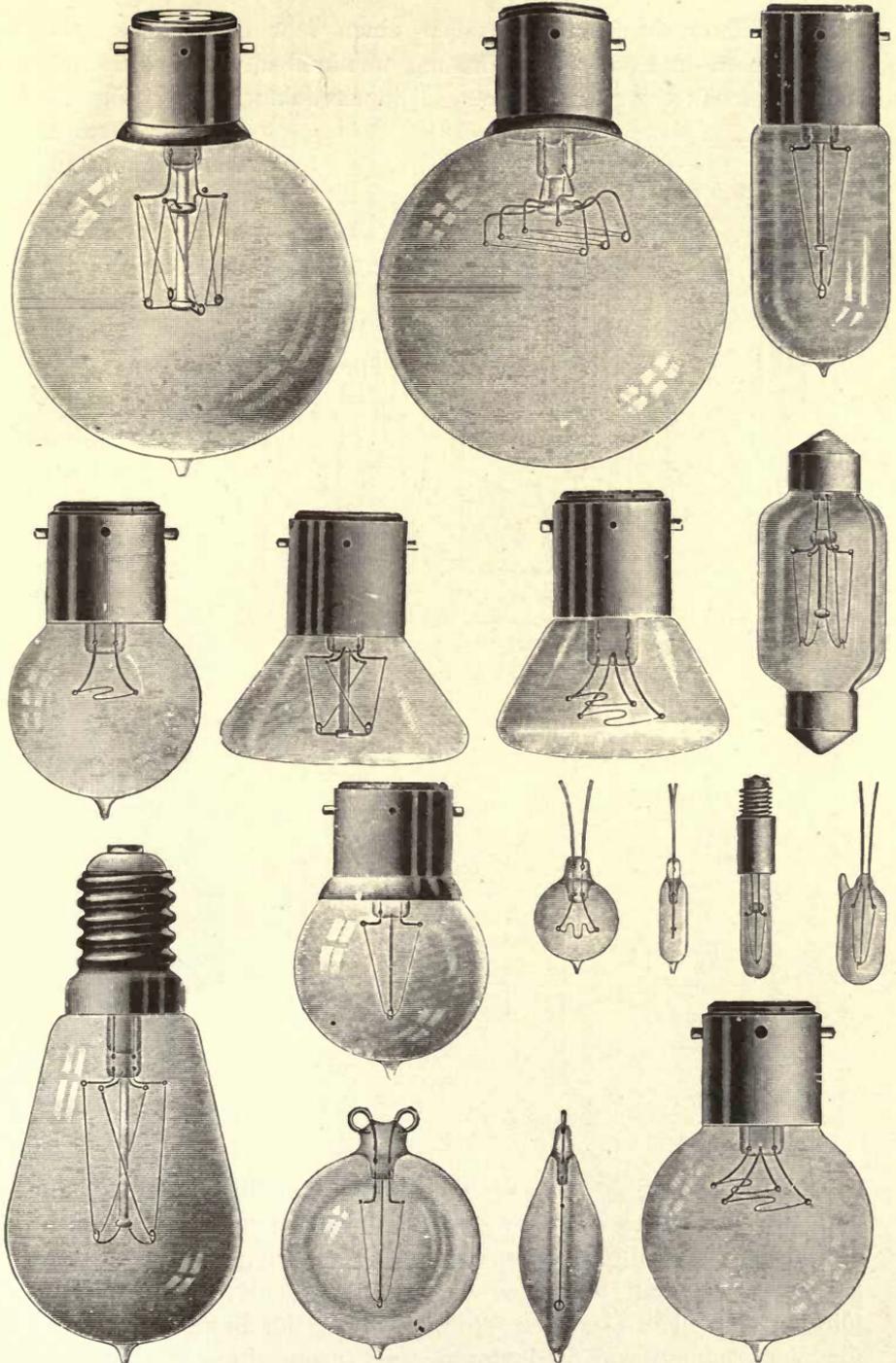


Fig. 40. Moderne Niederkerzen- und Zwerg-Wolframlampen.  
(Fabrikate der Firma Johann Kremenezky in Wien.)

Diese Kleintransformatoren besaßen einen sehr gedrunenen Bau und konnten in Form einer Fassung unmittelbar hinter die Glühlampe geschaltet werden. Einen „Nippelreduktor“ zeigt Fig. 42.

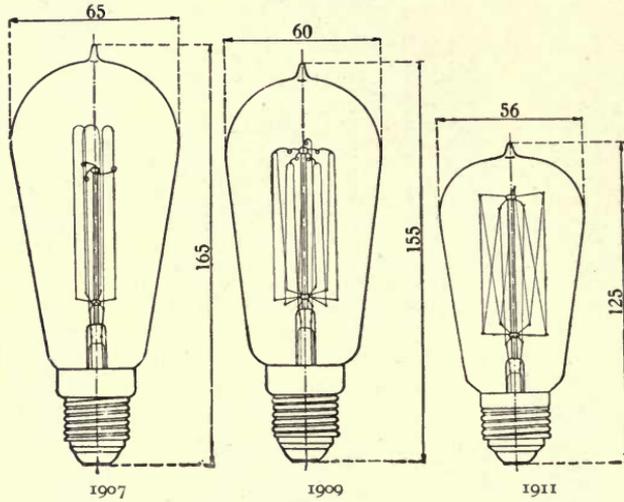


Fig. 41 a. Lampen in Birnenform für 25 Kerzen, 110 Volt, aus den Jahren 1907 bis 1911.

Die Reduktoren wurden hinter dem Schalter angebracht, wodurch der Leerlauf derselben vermieden wurde. Durch Heranziehung solcher Reduktoren war es möglich, niedrigvoltage Lampen bereits ab 5 Kerzen Lichtstärke in Wechselstromnetzen von üblicher Span-

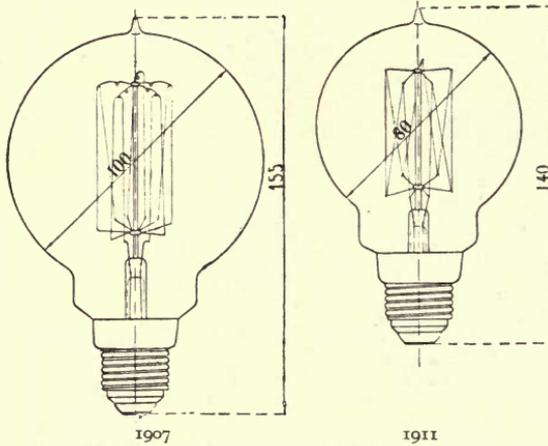


Fig. 41 b. Kugellampen für 25 Kerzen, 110 Volt, aus den Jahren 1907 und 1911.



Fig. 42. Nippelreduktor.

nung zu benutzen. Der Wattverbrauch einschließlich Reduktor und die Lebensdauer der sogen. Reduktorlampen war ungefähr die gleiche wie die der normalen Wolframlampen. Es braucht gar nicht besonders betont zu werden, daß heute, nach der Einführung der niedrigkerzigen Wolframlampen für hohe Spannungen die Verwendung von Reduktoren sehr große Einschränkung erfahren mußte.

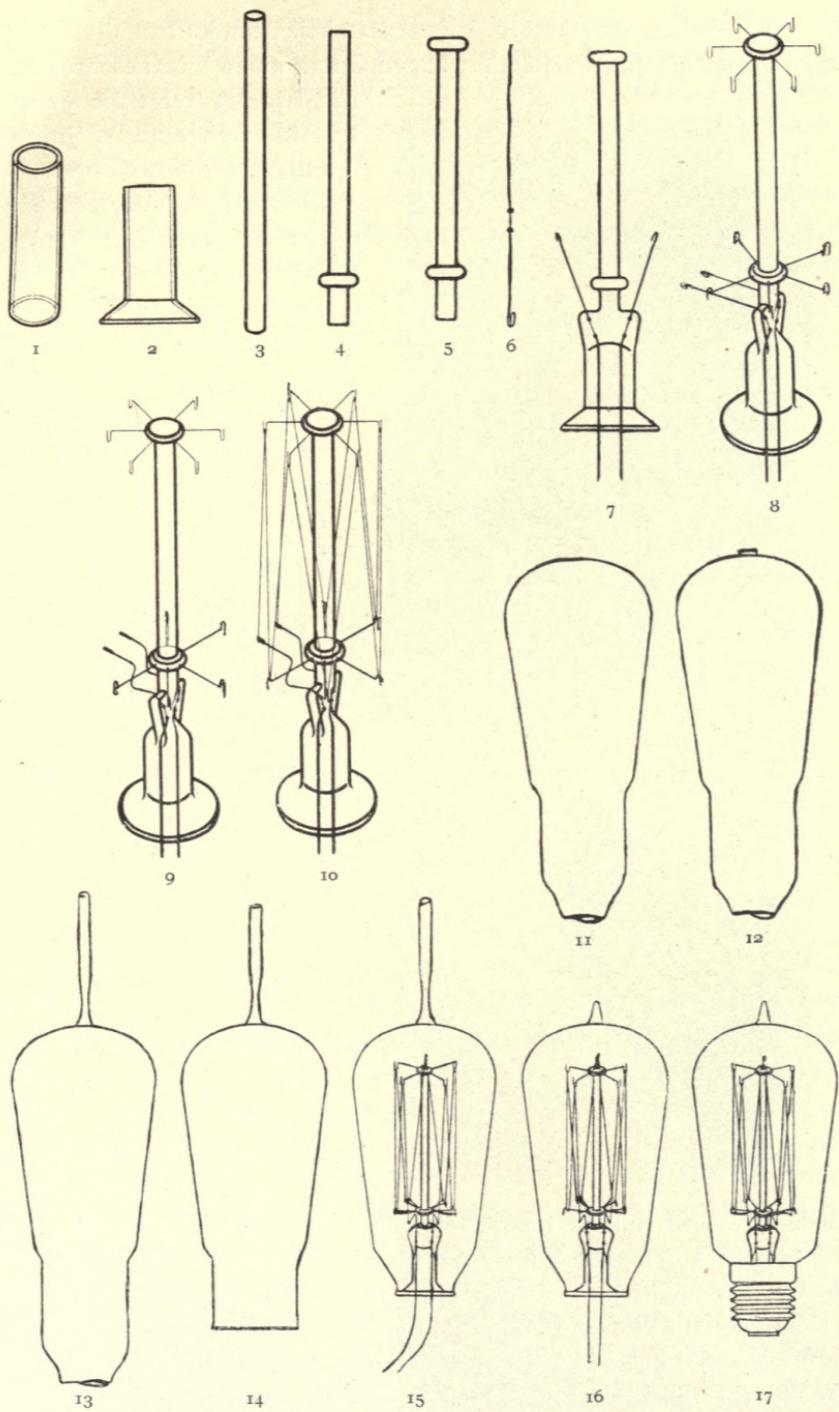


Fig. 43. Fabrikationsstufen einer Wolframdrahtlampe.

Wir wollen nun unsere Aufmerksamkeit dem Aufbau der Glühlampen zuwenden und die dafür nötigen Operationen kurz beschreiben.

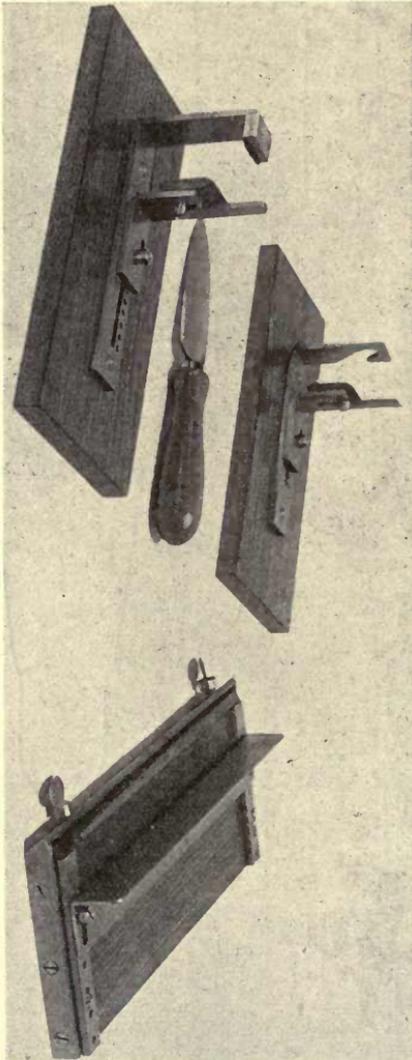


Fig. 44. Glasschneideapparate für Glühlampenwecke.

Die Fig. 43 zeigt die Fabrikationsstufen einer Wolframdrahtlampe. 1 stellt hier ein geschnittenes Glasröhrchen vor, welches eine tellerförmige Erweiterung 2 erhält. In das Röhrchen werden nun die Zuleitungsdrähte 6 eingeschmolzen und auf die Quetschung ein Glasstäbchen aufgesetzt. Das Ganze stellt nun den sogen. Lampenfuß 7 vor. Das Glasstäbchen, welches den eigentlichen Träger des Leuchtkörpers darstellt und für alle Metalldrahtlampen heute bezeichnend ist, enthält an seinem unteren und oberen Ende eine knopfförmige Verdickung, in welche kranzförmig die Halterdrähte eingeschmolzen werden. Auf diese wird noch der Leuchtkörper gebracht und dessen Enden mit den Zuleitungsdrähten verbunden. 10 zeigt ein fertig montiertes Lampengestell, welches nun in die Glasglocke eingeschmolzen werden soll; 11 einen Glasballon, wie er von der Glashütte geliefert wird. Der

Glasballon wird nun in passender Weise verändert (12 bis 14), das Traggestell in denselben eingeführt und der Teller des Fußes mit der Glocke verschmolzen. 15 zeigt eine solche eingeschmolzene Lampe, welche nunmehr auf das Pumpgestell gebracht und entlüftet wird, worauf der Stengel dicht an der Glocke abgeschmolzen wird (16). Schließlich wird die Lampe mit einem passenden Sockel versehen, an dessen Kontakte die Zuleitungsdrähte sorgfältig angelötet werden (17).

Die Herstellung der Lampenfüße geht im allgemeinen in folgender Weise vor sich. Es werden mittels glasharter Stahlmesser (Fig. 44, Fabrikat der Firma Gebrüder Köppe in Berlin) Röhrchen von genau gleicher Länge von einem langen Glasrohr zugeschnitten. Die Röhrchen gelangen in eine Tellerdrehmaschine (Fig. 45, Fabrikat Gebr. Köppe), in welcher das eine Rohrende in ein Einspannfutter gebracht und die Röhrchen in Rotation versetzt werden. Das aus dem Einspannfutter hervorstehende Ende des Röhrchens wird durch ein mehrfaches Gebläse sehr gleichmäßig erhitzt. Wird das Rohrende genügend heiß und weich, so führt man in dieses einen dreieckigen

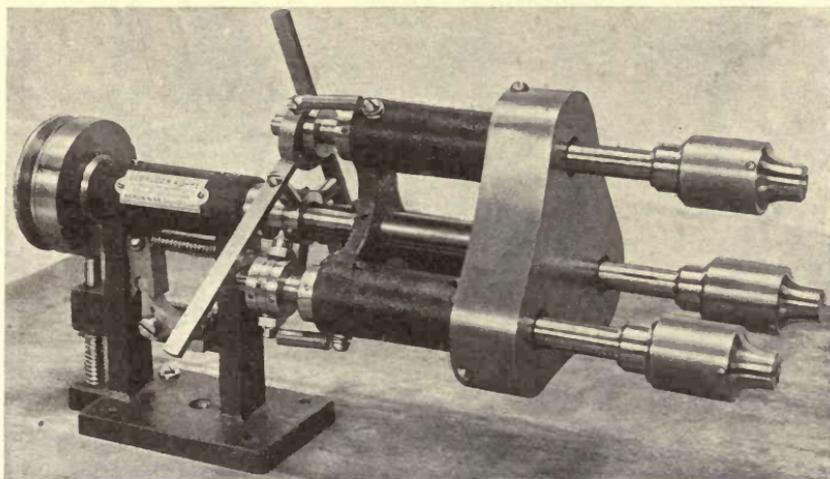


Fig. 45. Tellerdrehmaschine.

metallenen Aufreiber hinein, welcher die weichen Rohrwände nach außen drückt und zu einem sanft konischen Teller formt. Die Tellerdrehmaschine besitzt gewöhnlich zwei Einspannfutter, die durch einfachen Handgriff ihre Lagen gegenseitig wechseln können so, daß, während das eine Einspannfutter mit einem soeben fertiggestellten Teller aus dem Gebläsefeuer gerade herausgehoben wird, das zweite mit einem frisch eingespannten Glasröhrchen ins Gebläse kommt. Der mit einem Ring (unten) und Knopf (oben) versehene Glasstab wird auf völlig mechanischem Wege hergestellt, indem ein gewöhnliches Glasstäbchen in einer Maschine an der Stelle, wo der Ring herzustellen ist, erhitzt und, wenn weich genug, zusammengeschoben wird. In ähnlicher Weise wird der Knopf durch Plattdrücken des erhitzten Glasstabendes hergestellt. Jetzt folgt die Operation des Füßchenquetschens, welche mit der Füßchenquetschmaschine ausgeführt wird (Fig. 46,

Fabrikat der Firma Gebrüder Köppe in Berlin). Hier werden die Füßchen am Teller festgehalten und in Rotation versetzt. Gleichzeitig befinden sich im Innern des Füßchens die Stromzuleitungsdrähte, welche aus je einem Kupfer- und Nickeldraht und dazwischen

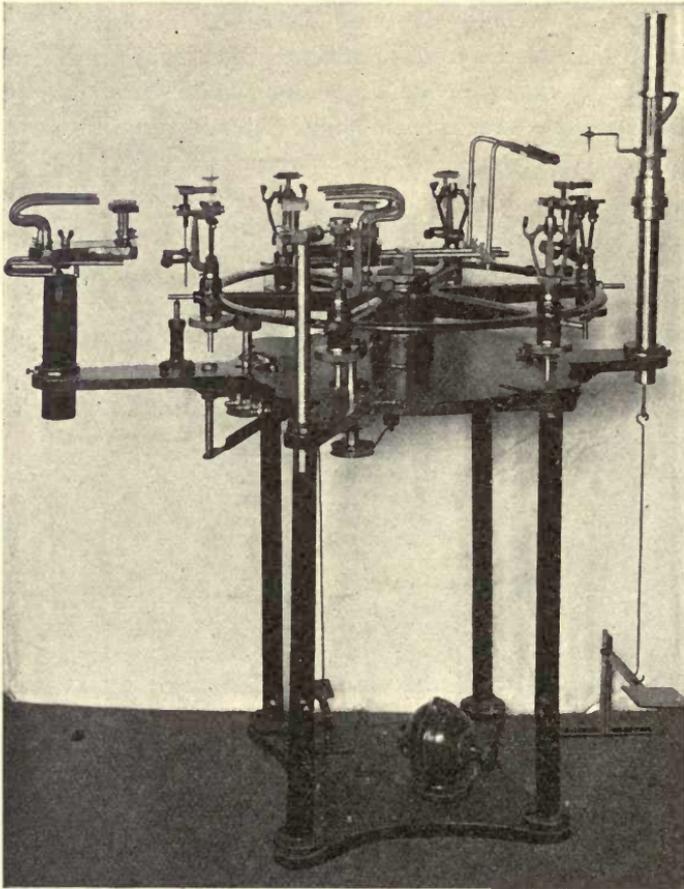


Fig. 46. Füßchenquetschmaschine.

liegendem und mit diesen verlöteten, etwa 4 mm langen Platindraht bestehen. Die Stromzuleitungsdrähte werden durch eine geeignete Haltvorrichtung in der Lage gehalten, daß beim Zusammenquetschen des Füßchens die Platindrähte genau in die Quetschung fallen. Durch die Bewegung des Rades *b*, auf welchem sich vier rotierende Füßchenhalter *a* befinden, kommen die Füßchen nacheinander zuerst in die Vorwärmer, sodann in das eigentliche Gebläsefeuer, in welchem die oberen Enden auf dunkle Rotglut erhitzt

werden. Im geeigneten Momente wird die Rotation des Füßchens unterbrochen und eine Zange quetscht das erweichte Ende des Füßchens mit den darin befindlichen Platindrähtchen zusammen. Mit derselben Maschine wird gleichzeitig von oben der Glasstab, dessen unteres Ende auch weich erhitzt wurde, an die Quetschung des Füßchens angesetzt. Die Operation des Füßchenquetschens ist recht wichtig. Die Quetschungen müssen absolut luftdicht sein und sehr vorsichtig abgekühlt werden, damit sich nachträglich keine Glassprünge einstellen.

Die durch die Quetschung geführten Zuleitungsdrähte müssen in der Quetschung selbst deshalb aus Platin bestehen, weil dieses Metall den genau gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt wie das Bleiglas, aus welchem die Füßchen hergestellt werden. Ein Draht aus einem Metall, welches geringeren Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt, wie z. B. das Tantal, Wolfram oder Molybdän, würde in einer Quetschung unfehlbar zu einem Glassprung führen, während alle anderen Metalle, welche einen größeren Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzen als das Platin, bei der Abkühlung nach dem Quetschen sich stärker zusammenziehen als das Glas und zu einer Kanalbildung in der Quetschung führen, durch welche die später daraus hergestellte Lampe undicht und unbrauchbar wird. Die Kanalbildung wird beim Einschmelzen solcher Drähte, wie Eisen, Nickel, Kupfer usw., noch dadurch wesentlich gefördert, daß die Drähte beim Einschmelzen ins Glas oxydieren und das oberflächlich gebildete lockere Oxyd ein glattes Anschmiegen des Glases an die Drahtoberfläche verhindert. Aus diesem Grunde konnten auch nicht die schon vor längerer Zeit entdeckten Metallegierungen, welche den gleichen Ausdehnungskoeffizienten besitzen wie das Glas, ohne weiteres verwendet werden. Die vornehmlich für den Zweck in Vorschlag gebrachte Nickeleisenlegierung konnte trotz des genau gleichen Ausdehnungskoeffizienten, den des Glases, für Einschmelzzwecke nicht verwendet werden, da das Metall beim Einschmelzen stark oxydiert. Wohl konnte in den meisten Fällen mit diesem Drahte eine luftdichte Quetschung erzielt werden und wurde auch der Draht bei der Fabrikation der Kohlenfadenlampen ganz allgemein verwendet, für die wesentlich empfindlicheren und teureren Wolframlampen konnte man den dabei immer noch vorhandenen Unsicherheitsfaktor nicht mit in Kauf nehmen, und die meisten Wolframfabriken benutzten trotz der hohen Platinpreise für Einschmelzzwecke den reinen Platindraht. Seitdem das Platin durch seine erst in neuerer Zeit eingetretene Verwendung für Bijouteriezwecke außerordentlich

im Preis gestiegen ist (der Preis beträgt heute ungefähr 6100 Mk. pro Kilogramm) und durch die mächtig emporblühende Glühlampenindustrie wachsende Mengen von Platin benötigt wurden, wurde der Heranschaffung eines verlässlichen Platinersatzes die größte Aufmerksamkeit zugewendet, und heute kann man wohl behaupten, daß man einen solchen Platinersatz bereits besitzt. Der Platinersatz besteht aus einem Nickeleisendraht, welcher mit einem dünnen festhaftenden Überzug aus Platin versehen ist. Dadurch sind die beiden Vorzüge, welche den Platindraht als Einschmelzdraht auszeichnen, die Unoxydierbarkeit und der Wärmeausdehnungskoeffizient, auch beim Platinersatzdraht erreicht. Der dünne Überzug aus Platin am Nickeleisendraht wird auf elektrolytischem oder mechanischem Wege hergestellt. Zum erstenmal wurde die Verwendung eines nur mit dünnem Platinüberzug versehenen Platinersatzdrahtes von Rudolf Langhans in Berlin vorgeschlagen (D. R. P. 71361 vom 6. Oktober 1891). Die Erzeugung dünner und dichter Platinüberzüge auf elektrolytischem Wege bereitete große Schwierigkeiten, welche durch die Erfindung von M. Baum (österreich. Pat. 42015 vom 25. April 1910) behoben zu sein scheinen. Der Erfinder schlägt aus nickelhaltigen Platinbädern Platinniederschläge mit abnehmendem Nickelgehalt auf den Draht nieder, wobei dieser während der Operation öfters ausgeglüht wird. Die oberste Niederschlagsschicht besteht aus reinem festhaftenden Platin. Ein einfacheres Verfahren, welches auch ein besseres Produkt liefert, ist das mechanische Platinüberzugsverfahren von Byron E. Eldred (österreich. Pat. 55304 vom 10. September 1912). Nach diesem Verfahren wird auf einen Nickeleisenstab ein Platinblech oder Rohr aufgelötet, und der so mit Platin überzogene Nickeleisenstab zu dünnem Draht ausgezogen. Natürlich müssen sowohl beim Auflöten des Platins auf den Nickeleisenstab, als auch bei der mechanischen Verarbeitung sehr viele Vorsichtsmaßregeln getroffen werden, damit der dünne Platinüberzug unverletzt bleibt und keine freien, oxydierbaren Stellen bloßgelegt werden. Eldred schlägt auch als Zwischenschicht zwischen dem Platinüberzug und Nickeleisen reines Kupfer vor, welches sowohl als Lot wirkt, als auch eine wesentliche Verbesserung der Leitfähigkeit hervorruft. Der größere Ausdehnungskoeffizient des Kupfers wird dadurch kompensiert, daß man für solchen Zweck ein Nickeleisen verwendet, welches einen etwas geringeren Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt als das Glas. Die beschriebenen Platinersatzprodukte besitzen einen Platingehalt von 50 bis 25 %, wobei sich der Prozentgehalt hauptsächlich nach dem Durchmesser des Drahtes richtet. Das spezifische Gewicht des

Platinersatzdrahtes ist ungefähr halb so groß wie das des Platins, wodurch die gleiche Gewichtsmenge des Platinersatzdrahtes die doppelte Drahtmenge ergibt, also für zweimal soviel Lampen ausreicht als reines Platin. Für die Ersparnis, die sich aus der Verwendung des Platinersatzes ergibt, ist deshalb neben dessen Platingehalt auch sein spezifisches Gewicht von großer Wichtigkeit. Es wurde auch oft versucht, das Nickeleisen mit einem anderen nicht oxydierbaren Metallüberzug zu versehen. A. Ch. Hyde und K. R. Swan haben z. B. hierfür eine Platinsilberlegierung in Vorschlag gebracht (D. R. P. 170358 vom 14. April 1905). Ein solcher Platinersatz scheint sich in der Praxis nicht bewährt zu haben, und zwar hauptsächlich aus dem Grunde, weil die Silberplatinlegierungen einen verhältnismäßig tiefen Schmelzpunkt besitzen. Beim Einschmelzen eines mit Silberplatin überzogenen Eisennickeldrahtes in den Lampenfuß schmilzt oft der Edelmetallüberzug, ballt sich zu kleinen Kugeln zusammen und gibt den Drahtkern der Oxydation preis, wodurch der Wert eines solchen Überzuges illusorisch wird. Es ist noch eine sehr große Zahl von anderen Vorschlägen für Platinersatz bekannt. Schott & Gen., Jena (D. R. P. 107442), schlagen z. B. vor, Nickeleisendraht in schützender Atmosphäre mit einem Glasüberzug zu versehen, so daß der mit einer Glasemaille bedeckte blanke Draht sich in Lampenfüßen, ohne Oxydation zu erleiden, einschmelzen läßt. Die Glühlampenfabrik Plechati in Pankow bei Berlin berichtet (D. R. P. 212562 vom 26. November 1908), daß das gewöhnliche Nickeleisen oder andere geeignete Metalle sich luftdicht ins Glas einschmelzen lassen, wenn man kurz vor dem Einschmelzen die Lötstellen im Sandstrahlgebläse vorbehandelt. Mehrere Firmen bringen gegenwärtig unter verschiedenen Namen, z. B. Platinide, Tital usw., gewöhnlichen Nickeleisendraht in den Handel, welche sich bei gleichzeitiger Anwendung ganz besonderer Präpariermethoden für Einschmelzzwecke angeblich gut eignen sollen. Auch wurde es vielfach vorgeschlagen, einen beliebigen Draht für Einschmelzzwecke zu verwenden und den Lampenfuß mit einem schwerschmelzbaren Harz hinter der Quetschung auszugießen, wodurch die etwa entstehenden feinen Kanäle, durch welche die Luft in die Lampen einziehen könnte, ausgefüllt und unschädlich gemacht werden (Società Edison per la Fabricazione delli Lampade Ing. C. Clerici & Co. in Mailand, D. R. P. 133494 vom 10. November 1900). Eine andere Methode, nach welcher es möglich erscheint, beliebige Metalle in Glas luftdicht einzuschmelzen, geben Ch. Orme Bastian und G. Calvert in London an (D. R. P. 196465 vom 12. Mai 1907). Nach diesem Verfahren

wird der Zuleitungsdraht, welcher aus Kupfer oder einer Kupferlegierung besteht, bis zu einer Stärke von höchstens 0,1 mm abgeflacht in ein eng passendes Röhrchen aus leicht schmelzbarem Glas gesteckt und darin eingeschmolzen. Bei einem solchen abgeflachten Zuleitungsdraht kommt eine eventuell vorhandene Differenz im Ausdehnungskoeffizienten infolge der sehr geringen Stärke des Drahtes kaum in Betracht. Außerdem gelingt es von vornherein, bei Anwendung eines Kupferdrahtes, infolge seiner guten Leitfähigkeit und der der Wärmeableitung sehr günstigen flachen Gestalt des Leiters, einen Draht von möglichst geringem Querschnitt zu verwenden. Mit Ausnahme des mit Platinüberzug versehenen Drahtes scheinen alle anderen Platinersatzprodukte infolge deren nur bedingten Sicherheit und recht umständlichen Anwendung sich wenig in der Wolframlampenindustrie eingeführt zu haben.

Kehren wir nun zur Besprechung des Aufbaues der Wolframlampen zurück. Nach dem Fertigstellen des Lampenfußes werden in den Glasring und Knopf des Glasstäbchens mit sehr feinen Gebläseflammen Drahthalter eingeschmolzen, welche als Träger für den Leuchtdraht dienen sollen. Das Material, die Gestalt und Anordnung der Träger ist je nach der Lampentype eine sehr verschiedene und wechselte im Laufe der Zeit außerordentlich. Während wir bei den ersten Metalldrahtlampen (Fig. 13) noch das Fehlen des mittleren Glasstäbchens überhaupt konstatieren können und finden, daß die einzelnen Wolframdrahtschlingen durch die an der Glaswand befindlichen Halter, ähnlich wie die Kohlenfäden in den Kohlenfadlampen, gehalten wurden, tritt schon bei den ältesten Wolframlampen der in der Lampe zentrisch gelagerte Glasstab mit den Halterdrähten als charakteristisches Merkmal dieser Lampen auf. Die Aufhängungsarten der Leuchtkörper in den ältesten Wolframlampen zeigen die Fig. 38a u. b. Hier sind die Wolframdrähte mit ihren Enden an starre, relativ dicke Drähte von winkelförmiger Gestalt befestigt und fortlaufend miteinander verbunden. Die oberen Teile der Leuchtdrahtschlingen hängen frei in ösenförmigen Haltern durch. Solche Lampen konnten beim Brennen nur mit der Spitze nach unten benutzt werden, da sich sonst die erhitzten und weich gewordenen Drahtschlingen sehr leicht durchbiegen, berühren und Kurzschluß verursachen konnten. Sehr bald wurde auch diese Halterung aufgelassen und eine andere eingeführt, welche das Brennen der Lampen in jeder Lage gestattet. Bei dieser blieb die Befestigung der bügelförmigen Wolframfäden an deren unteren Enden dieselbe, während der Drahtbügel selbst durch geeignete Halter unter schwacher

Spannung gehaltert wurde. Die Halter müssen so beschaffen sein, daß sie der während des Brennens des Leuchtdrahtes allmählich stattfindenden Verkürzung des Leuchtdrahtes nachgeben können und trotzdem ihn dabei immer strammhalten; die Halter müssen also vor allem federnd sein. Die federnde Wirkung läßt sich in diesem Falle am besten dadurch erzielen, daß man für Halterzwecke dünne, elastische Drähte aus hochschmelzenden Metallen verwendet. Die Halter müssen deshalb aus hochschmelzendem Material bestehen, weil sonst die Stellen, welche der glühende Wolframdraht berührt, leicht schmelzen könnten. In erster Zeit wurden Halter aus Platiniridium verwendet, welche aber sehr bald infolge der Kostspieligkeit des Materials durch Halter aus Thoriumoxyd ersetzt wurden. Auch dieses Haltermaterial wurde infolge der recht umständlichen Herstellung und verschiedener anderer Mängel solcher Halter nicht lange benutzt und recht bald, als es sich zeigte, daß die durch Formierung gewonnenen Molybdändrähte schön biegsam sind, durch Halter aus Molybdän ersetzt (D. R. P. 212895). Das Molybdän hat sich für Halterzwecke vorzüglich bewährt, insbesondere deshalb, weil infolge des sehr hohen Schmelzpunktes dieses Metalls sehr dünne Drähte als Halter verwendet werden konnten. Die Verwendung möglichst dünner Halter geschieht außer den bisher angeführten noch aus folgenden Gründen. Vor allem wird der Leuchtkörper durch dünne Halter viel weniger abgekühlt, wodurch unnötiger Verlust, welcher sich durch Wärmeableitung einstellen könnte, vermieden wird. Bei der Verwendung spröder Wolframfäden war auch die Bruchgefahr infolge Federung der dünnen Halter viel geringer als bei der Verwendung eines dicken, starren Halterdrahtes. Schließlich ist es für die Güte des Lampenvakuums von Vorteil, je geringer die Metallmenge ist, welche sich in der Lampe befindet, da fast alle Metalle große Mengen absorbierter Gase enthalten, welche beim Brennen der Lampe allmählich entweichen und das Vakuum verschlechtern. Bei Wolframlampen mit längeren Wolframfäden, so z. B. Hochkerzenlampen, wurden auch oft die sogen. Mittelhalter aus Molybdändraht verwendet, welche die allzu großen Schwingungen der langen Wolframfäden verhinderten. Der Molybdändraht als Haltermaterial wird trotz des vorhandenen Patentschutzes so ziemlich allgemein verwendet. Die Ursache kann nur darin erblickt werden, daß das Molybdänhalterpatent mit Recht als ein nicht sehr valides Patent angesehen wird. Viel früher schon haben Siemens & Halske ein Patent für die Verwendung von Halterformstücken aus den „schwer schmelzbaren Metallen selbst, welche auch in den Glüh-

lampen verwendet werden“, wie Tantal, Niob, Vanadin und anderen hochschmelzenden Metallen, erhalten (D. R. P. 149683 vom 11. September 1902). Die in der Nähe des Lampensockels befindlichen unteren Enden der Wolframdrahtbügel wurden an den starren verhältnismäßig dicken Winkeldrähten befestigt, welche kranzförmig in den Glasring des Glasstäbchens eingeschmolzen waren. Die Winkeldrähte hielten die Leuchtdrahtenden in unveränderlicher Lage und besorgten die Stromverbindung zwischen den einzelnen Leuchtdrahtbügeln. Die Drähte waren gewöhnlich aus Nickel, Kupfer oder Konstantan und mußten derart dimensioniert sein, daß sie sich während des Brennens der Lampe nicht übermäßig erhitzen. In den Hochkerzenlampen, bei welchen infolge der verhältnismäßig hohen Ströme und des großen Wärmeffusses von den dicken glühenden Leuchtfäden die Gefahr der Überhitzung der Winkeldrähte besonders groß war, mußten an deren Stelle Blechstücke von verhältnismäßig großer Leitfähigkeit, Wärmekapazität und Strahlungsoberfläche treten (Bergmann - Elektrizitäts - Akt. - Ges., D. R. P. 235794 vom 19. Dezember 1909). Die Bleche brachten den großen Nachteil, schon bei einer schwachen Erhitzung, wie solche beim Brennen der Lampen unvermeidlich war, beträchtliche Mengen von Gasen zu entwickeln und das Vakuum zu verschlechtern. Um die allzu große Erhitzung der Bleche zu verhindern, schlägt die Firma Bergmann-Elektrizitäts-Akt.-Ges. (D. R. P. 249549 vom 11. August 1911), vor, die starken Leuchtdrähte in der Nähe der Halterstellen derart zu gestalten, daß dieselben einen flachen Querschnitt erhalten, so daß bei angenähert gleichbleibendem Flächeninhalt des Querschnittes das Verhältnis des Umfanges zu dem Inhalte in der Nähe der Halter größer, also die Fadentemperatur tiefer ist als in den übrigen Fadenteilen.

Gerade den entgegengesetzten Zweck verfolgen die folgenden Erfindungen. Die Befestigung der Leuchtkörper an die relativ dicken Winkeldrähte resp. Bleche bewirkte auch, daß die Enden der Leuchtdrähte stark abkühlten, wodurch deren ungleichmäßige Belastung resultierte. Bei Glühlampen mit starken Leuchtdrähten, wie bei manchen Niedervoltlampen oder Hochkerzenlampen, trat diese Erscheinung besonders deutlich auf, und es erschien auch in vielen Fällen vorteilhaft, dieser Erscheinung zu begegnen. Es wurde z. B. vorgeschlagen (Elektro-Sparlicht, G. m. b. H., D. R. P. 216278; 216457), die Leuchtdrahtenden derart zu verjüngen, daß trotz der Abkühlung der Enden diese infolge der Überlastung auf gleicher Glut sich befinden wie der Rest des Drahtes. Siemens & Halske, Akt.-Ges. (D. R. P. 231732), schlagen für den gleichen Zweck vor, die Leuchtkörper, mit

Ausnahme seiner der Abkühlung ausgesetzten Enden, in ihrer ganzen Länge derart flach zu walzen, daß sie einen ovalen Querschnitt erhalten. Die Enden bleiben bei gleichem Querschnitt, im Gegensatz zu dem oval gewalzten Draht, rund und besitzen somit eine geringere Strahlungsoberfläche. Bei Stromdurchgang werden dadurch die Enden stärker belastet, also deren Abkühlung entgegengearbeitet.

Das Aufmontieren der Glühfäden auf das Traggestell wird bei Verwendung der nach dem gewöhnlichen Formierverfahren erhältlichen bügel förmigen Wolframdrähte in der Weise ausgeführt, daß die Drahtbügel auf die häkchenförmigen Molybdänhalter aufgehängt und deren Enden mit den am Glasring befindlichen Haltern und

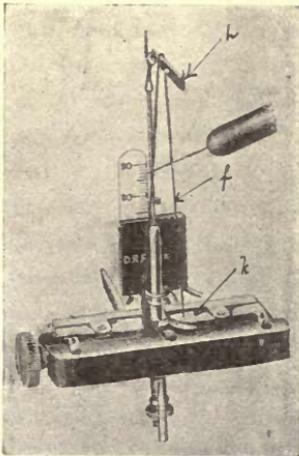


Fig. 47. Fadenmeßapparat.

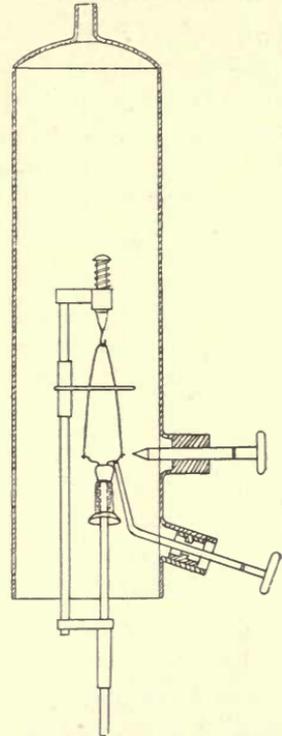


Fig. 48. Lichtbogen-Schweißapparat.

Zuleitungsdrähten verbunden werden. Hierbei muß vor allem große Sorgfalt darauf verwendet werden, daß nur völlig gleich dicke Fäden in einer und derselben Lampe untergebracht werden. Zu diesem Zweck müssen die aus der Formierung kommenden Wolframdrahtbügel genau nach ihrem Durchmesser sortiert werden, was in einer entsprechenden Station durch Dickenmessung, Wägung gleich langer Fäden oder Widerstandsmessung besorgt werden kann. Sehr gut hat sich die letztgenannte Methode, die Messung des elektrischen Widerstandes bewährt. Einen hierfür zweckmäßigen Apparat stellt Fig. 47 vor. Auf den für verschiedene Fadenlängen verstellbaren Halter *h* wird Faden *f* aufgehängt und mit den Klemmen *k*, welche

einen sehr guten elektrischen Kontakt besorgen, festgeklemmt. Nun wird der elektrische Widerstand in der gewöhnlichen Weise mit der Wheatstoneschen Brücke oder durch Strommessung bei bestimmter Klemmenspannung gemessen. Die Befestigung des Leuchtkörpers an die Halter wurde von verschiedenen Firmen in verschiedenster Weise ausgeführt. Am besten bewährte sich das Anschweißen vermittelst des elektrischen Lichtbogens (Deutsche Gasglühlicht-Akt.-Ges., D. R. P. 162417 vom 27. Juli 1904). Fig. 48 stellt eine schematische Abbildung eines Lichtbogen-Schweißapparates vor. Hier wird in einem von reduzierenden Gasen durchspülten Zylinder das Traggestell mit den aufmontierten Fäden hineingestellt. Die Fadenenden werden in geeigneter Weise an die entsprechenden Zuführungs- und Halterdrähte angedrückt und festgehalten. Während man nun mit der Anode den entsprechenden Halterdraht berührt, führt man die feingspitzte Kathode gegen den Berührungspunkt des Fadens und Halters, berührt denselben und entfernt sogleich die Kathode, wodurch zwischen dieser und dem Berührungspunkt ein kleiner Lichtbogen entsteht, welcher die berührte Stelle zum Schmelzen bringt und die beiden Drahtenden vorzüglich verschweißt. Man arbeitet vorzugsweise mit niederer Spannung, etwa 20 Volt, schaltet in den Stromkreis eine den Öffnungsfunken verstärkende Selbstinduktionsspule und stellt durch Einschaltung von Widerständen die Stromstärke von Fall zu Fall, je nach der Stärke der anzuschmelzenden Drähte, verschieden groß ein. Nach der Erfindung von Silvio Marietti in Mailand (D. R. P. 233205 vom 26. Februar 1908) läßt sich das Verschweißen der Fäden mit den Haltern mittels des elektrischen Lichtbogens auch an freier Luft ohne Oxydation der Wolframdrähte ausführen, wenn man auf den Lichtbogen entgegen der Fadenrichtung einen Luftstrom lenkt, wodurch die der Schweißstelle benachbarten Teile während der Operation kühl bleiben. Beim Anschmelzen der Wolframdrähte an Metalle, welche große Legierungsfähigkeit mit dem Wolfram besitzen, wie z. B. Nickel, zieht sich das geschmolzene Metall eine Strecke lang in den Faden hinein und bildet eine Legierung. Dieses ist sehr unerwünscht, da beim Brennen der Lampen das leicht schmelzbare Metall verdampft und an der Glocke schwarze Beschläge bildet. Vor allem aber tritt die Erscheinung des „Spitzwerdens“ der Fäden in der Nähe der Schweißstelle ein, wodurch die Widerstandsfähigkeit des Leuchtkörpers an dieser Stelle bei Stromdurchgang stark beeinträchtigt wird. Verwendet man an Stelle des Nickeldrahtes als Stromzuführung Kupfer, so tritt ein anderer Übelstand ein, der darin besteht, daß der Faden

infolge der geringen Legierungsfähigkeit mit Kupfer von der Schmelzkugel nicht umgeben wird, sondern auf deren Oberfläche heraus-schnellt, wodurch sich keine feste Verbindung erzielen läßt. Oft kommt es auch vor, daß das legierte Fadenende beim Anschmelzen an Nickel, da es leichter schmilzt als Wolfram, beim Einschalten der Lampe durchschmilzt. In einem Patent (D. R. P. 206094) schlägt deshalb die Auergesellschaft vor, als Material für Halter, an welche Wolframdrähte angeschmolzen werden sollen, solche Metallegierungen, welche nur eine mäßige Legierungsfähigkeit mit dem Wolfram besitzen. Eine solche Legierung stellt z. B. die Legierung von Kupfer mit Nickel, das sogen. Konstantan vor. Hier wird die große Legierungsfähigkeit des Nickels durch das Kupfer, welches fast gar nicht fähig ist mit Wolfram Legierungen zu bilden, stark gemäßigt.

Alle Übelstände, welche sich bei den Wolframlampen infolge des Anschmelzens des Leuchtkörpers an die in der Nähe des Glühlampensockels befindlichen Halter und der Heranziehung der Halter zur Leitung ergeben haben, konnten durch die Benutzung des Verfahrens von Eugen Hurwitz (D. R. P. 251948 vom 31. Januar 1911) vermieden werden. Nach dieser Erfindung bestehen die beiden

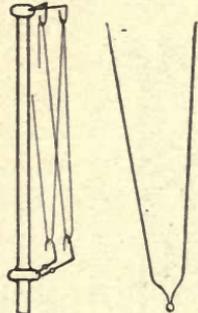


Fig. 49.

Halterkränze des Traggestelles aus mehr oder minder federnden Haltern aus hochschmelzendem Metall, am besten Molybdän, deren Enden nach innen der Mitteltragstütze zugewandte Haken besitzen. Die bügelförmigen Wolframdrähte werden in der gewöhnlichen Weise auf die Haken des oberen Halterkranzes gehängt, die unteren Enden der benachbarten Drahtbügel nicht mehr mit den Haltern, sondern nur miteinander verschmolzen. Zu diesem Zwecke ist es vorteilhaft, die unteren Enden der Leuchtkörperbügel in passende Form zu biegen, damit sich die Enden beim Verschmelzen im Lichtbogen besser berühren. Durch dieses Verschmelzen der Leuchtkörperbügel entsteht ein zickzackförmig gestalteter Leuchtkörper, der nur an seinen äußersten Enden mit den Stromzuführungen verbunden ist, wodurch die Glühlampe das Aussehen einer kontinuierlich gewickelten Lampe erhält (Fig. 49). Diese Lampenkonstruktion aus den einzelnen Wolframdrahtbügeln des alten Systems bildet in der Form den besten Übergang zur modernen Wolframlampe. Es sei hier schließlich bemerkt, daß das Patent von Hurwitz fast völlig identisch ist mit einem Patent von Walter Schäffer, Berlin (D. R. P. 203710 vom 15. August 1907)

und wohl als Beispiel für die sogen. „Umgehungspatente“ dienen könnte.

Wesentlich vereinfacht wurde das Aufmontieren des Leuchtkörpers, als die Duktilisierung des Wolframs gelungen war und man nur den Leuchtdraht auf das Traggestell aufzuwickeln und deren Enden an die Zuführungsdrähte festzuklemmen brauchte. Am besten eignet sich hierfür ein Traggestell, wie solches von Siemens & Halske (D. R. P. 153328 vom 20. Juni 1903, Zusatzpatente 159027; 171804; 176837; 181817) in dem sogen. Wickelpatent für die Tantalampen geschützt wurde. Hiernach wird über zwei starre Halterkränze der Leuchtdraht zickzackförmig geführt und mit den Zuführungsdrähten verbunden. Als es sich darum handelte, dasselbe

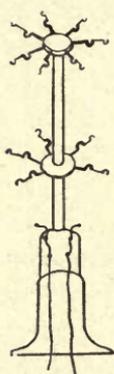


Fig. 50.

Traggestell auch für die Wolframlampen zu verwenden, gerieten die meisten Firmen, die das Wickelpatent nicht mitbenutzen durften, in große Verlegenheit. Die meisten Firmen fanden jedoch bald neue Verfahren, welche das Wickelpatent zu umgehen gestatteten. Die Deutsche Gasglühlicht-Akt.-Ges. hat sich (D. R. P. 235630) ein Verfahren geschützt, nach welchem der Leuchtkörper zuerst auf einer geeigneten Schablone zu einem zickzackförmigen Gebilde vorgeformt und alsdann auf die Halterkränze aufgelegt wird. Dieses Verfahren gestattete zugleich die Benutzung ganz dünner elastischer Halter, welche sich aus den früher genannten Gründen viel besser eignen

als Halter aus starren dicken Drähten. Die Verwendung ganz dünner Halter beim alten Siemenswickelpatent war nicht möglich, da solche Halter, die beim direkten Aufwickeln des Leuchtdrahtes ausgeübte Zugwirkung nicht aushielten und sich stark verbiegen mußten. Auch Siemens & Halske hat die Vorteile, welche sich bei der Verwendung dünner Halter ergeben, erkannt, und sich folgendes Verfahren geschützt (D. R. P. 236715 vom 10. Juni 1910). Die Halterkränze des Traggestelles bestehen aus Haltern, welche in ihrem am Glas befindlichen Ansatz aus dicken und starren, an den Enden aber aus dünnen elastischen Drähten bestehen (Fig. 50). Der Leuchtdraht wird zuerst auf die dicken Halterteile gewickelt und sodann auf die dünnen herübergelegt. In einem anderen Patent (D. R. P. 254209 vom 31. Dezember 1910) schlägt die Firma Siemens & Halske vor, den Glühfaden auf Halterkränze, welche aus nur dünnen, federnden Haltern bestehen, auf diese Weise zu wickeln, daß der Glühfaden zunächst nahe an der Befestigungsstelle der Halter gewickelt und dann auf die zur Aufnahme des Glühfadens

bestimmten Teile des dünnen Halters übertragen wird. Bei der Verwendung der Traggestelle, deren beide Halterkränze nur aus dünnen Haltern bestehen, zeigte sich bald, daß auch dieser Anordnung Fehler anhaften. Es kam oft vor, daß die durch seitliche Stöße hervorgerufenen Schwingungen des Leuchtkörpers eine Verbiegung der dünnen und nachgiebigen Halter verursachten, durch welche eine unliebsame Deformation des ganzen Leuchtdrahtes eintrat. Man begnügte sich deshalb schließlich nur mit einem Halterkranz aus dünnen Haltern, während der zweite in der Nähe des Glühlampensockels befindliche jetzt allgemein aus dicken starren Haltern besteht, welche alle Stöße und Schwingungen des Leuchtdrahtes auffangen. Fig. 39 zeigt eine solche moderne Wolframlampe. In einem Patent (D. R. P. 258596 vom 5. November 1911) schützt sich die Deutsche Gasglühlicht-Akt.-Ges. ein Traggestell, bestehend aus je einem Kranz federnder und starrer Halter, wobei die starren Halter in eigenartiger Weise, wie Fig. 51 zeigt, geformt sind. Die schraubenförmigen Ösen, welche sich an den Enden der starren Halter befinden, verhüten ein Herausfallen des Glühfadens bei einem eventuellen Nachgeben der federnden Halter.

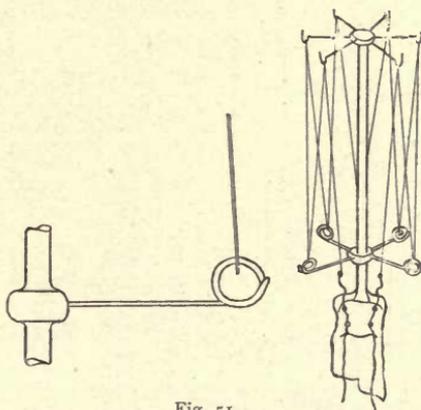


Fig. 51.

Zum Aufbringen des drahtförmigen Leuchtkörpers auf die Fadenstützen eines solchen Traggestelles hat die Auergesellschaft eine Vorrichtung erfunden (D. R. P. 256462 vom 27. Juli 1911), mit welcher beim Aufwickeln des Leuchtdrahtes auf das Traggestell die federnden Halter durch bewegliche, starre Hilfsalter entlastet werden. Die Deutsche Gasglühlicht-Akt.-Ges. hat auch ein Patent angemeldet (österr. Patentanmeldung vom 2. Januar 1912, A. 1712), in welchem ein Traggestell beschrieben wird, dessen praktisch starre Halter des dem Sockel benachbarten Halterkranzes nicht die gewöhnliche häkchenförmige Form besitzen, sondern mit schleifenförmigen Buchtungen, Kröpfungen und Vorsprüngen versehen sind, um die der Leuchtdraht so herumgewickelt wird, daß ein Herausfallen desselben unmöglich wird. Die Firma Julius Pintsch, A.-G. (D. R. P. 256389 vom 19. November 1911) beschreibt ein Traggestell für Metallfäden elektrischer Glühlampen mit eigenartig geformten Fadenstützen. Die

Fadenstützen besitzen, um ein Abgleiten des Leuchtkörpers zu verhindern, ein besonders geformtes, am Ende befindliches Querstück (Fig. 52). In einem anderen Patent (D. R. P. 259201 vom 22. November 1911) beschreibt dieselbe Firma ein Traggestell, bei welchem der Glühkörper auf Traghalter aufgewickelt wird ohne gegen Abgleiten gesichert zu sein, während das Abgleiten durch an der Mitteltragstütze befestigte Halter verhindert wird (Fig. 53). In einer österreichischen Patentanmeldung (A. 7335—12 vom 28. August 1912) hat die Elektrische Glühlampenfabrik „Watt“ in Wien auch ein eigenartiges Wickelverfahren beschrieben. Hiernach wird der Leuchtdraht auf eine Schablone von spitzeiförmigem Querschnitt gewickelt und der so vorgeformte Leuchtdraht mit den spitzförmigen Buchtstellen in sämtliche Halter des oberen Halterkranzes eingehängt, während die zwischen je zwei spitzwinkligen Buchtstellen befindlichen Fadenschleifen beim Versetzen der Halter des anderen Halterkranzes in ihre endgültige Lage zu geradlinigen Leuchtkörperabschnitten gestreckt werden. Die meisten Wickelpatente sind in der Not entstanden, als es sich darum handelte, das alte Siemens-Wickelpatent zu umgehen. Freilich bleibt es abzuwarten, ob diese Patente von dem ursprünglichen Wickelpatent der Firma Siemens & Halske nicht abhängig erklärt werden. In der letzten Zeit scheint aber die Patentfähigkeit des Siemens-Wickelpatentes recht zweifelhaft geworden zu sein, da es sich herausstellte, daß in einem österreichischen Privileg von Dr. J. Müller und Dr. S. Buxbaum (48/2587 vom 12. März 1898) ein ähnliches Wickelsystem bereits vorbeschrieben wurde. Vorläufig wird über diese Frage in der Glühlampenindustrie ein erbitterter Kampf geführt.

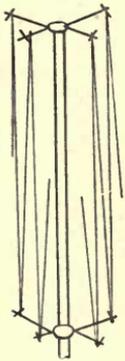


Fig. 52.

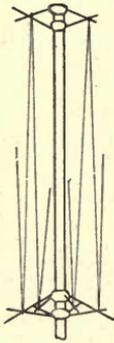


Fig. 53.

Das mit dem Leuchtdraht versehene Traggestell wird nun in entsprechende Glaskolben eingeschmolzen. Die Glaskolben werden an die Glühlampenfabriken von den Glashütten fertig geliefert und müssen nur vor der Operation des Einschmelzens in geeigneter Weise vorbereitet werden. Zuerst wird der röhrenförmige Ansatz des Kolbens in passender Weise abgezogen. Eine geeignete Kolbenabziehmaschine stellt Fig. 54 vor (Fabrikat der Firma Gebr. Köppe in Berlin). Noch vor dem Kolbenabziehen werden die Kolben gewöhnlich mit einem Pumpstengel versehen. Zu diesem Zwecke wird in der Mitte des oberen kugelförmigen Endes des Kolbens ein

Das mit dem Leuchtdraht versehene Traggestell wird nun in entsprechende Glaskolben eingeschmolzen. Die Glaskolben werden an die Glühlampenfabriken von den Glashütten fertig geliefert und müssen nur vor der Operation des Einschmelzens in geeigneter Weise vorbereitet werden. Zuerst wird der röhrenförmige Ansatz des Kolbens in passender Weise abgezogen. Eine geeignete Kolbenabziehmaschine stellt Fig. 54 vor (Fabrikat der Firma Gebr. Köppe in Berlin). Noch vor dem Kolbenabziehen werden die Kolben gewöhnlich mit einem Pumpstengel versehen. Zu diesem Zwecke wird in der Mitte des oberen kugelförmigen Endes des Kolbens ein

Loch mit Hilfe einer Lochmaschine ausgeblasen (Fig. 55) und sofort ein Glasröhrchen als Pumpstengel angeschmolzen. Der auf diese Weise vorbereitete Kolben wandert mit dem Traggestell in die Einschmelzmaschine. Eine moderne Einschmelzmaschine zeigt Fig. 56 (Fabrikat der Firma Gebrüder Köppe in Berlin). In die Zangen *Z* werden die Kolben eingehängt und zugleich auf einen Halter das Traggestell *D* derart aufgesetzt, daß es zentrisch in die Lampe hineinragt und der Tellerrand sich einige Millimeter oberhalb des Randes der Kolbenöffnung befindet. Die Zange rotiert mit dem Kolben und fährt an dem Vorwärmer und dem Gebläse vorbei, welche den Rand des Kolbens weich erhitzen und zum Zusammenfallen bringen. Der sich zusammenziehende Kolbenrand legt sich an den gleichfalls erhitzten Teller- rand und verschmilzt mit diesem vollständig. Die eingeschmolzenen Lampen werden ganz langsam abgekühlt, damit allzu große Spannungen der verschmolzenen Stellen vermieden werden. Hierfür eignen sich gut drehbare Gestelle mit passenden, mit Asbest ausgefütterten

Versenkungen, in welchen die Lampen, eingesetzt, nur ganz langsam abkühlen. Mit dieser Operation wird zweckmäßig auch das Ausblasen der Lampen mit trockenem Luftstrom verbunden, wodurch der größte Teil des beim Einschmelzen eingedrungenen Wasserdampfes, welcher sich sonst an der inneren Glockenwand niederschlagen und das Entlüften erschweren würde, entfernt. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin (AEG) hat in einem Patent vorgeschlagen (D. R. P. 205201 vom 10. Januar 1908), die Glühlampen gleich nach dem Einschmelzen noch heiß auf die Pumpen aufzusetzen, wodurch sich die letztbeschriebenen Operationen erübrigen.

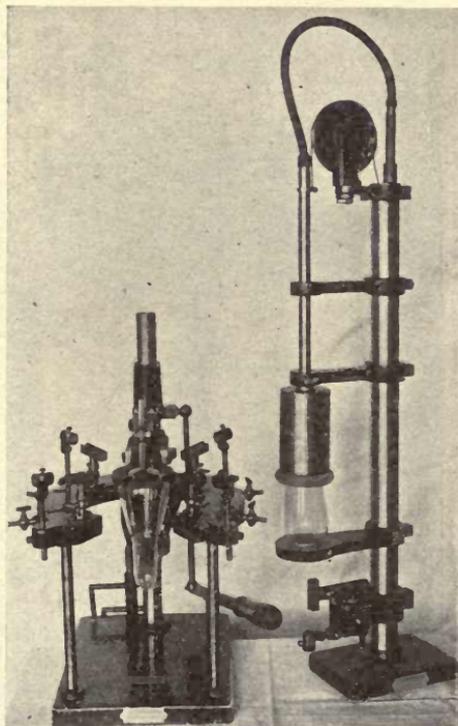


Fig. 54. Kolbenabzieh- und Stengelansetzmaschine.

Fig. 55. Lochmaschine.

Das Entlüften der Lampen. Eine wichtige Operation, von deren richtiger Durchführung die Güte der Glühlampen sehr abhängig ist, ist das Entlüften der Lampen. Das Entlüften oder Pumpen der Lampen muß soweit als möglich vollständig durchgeführt werden, der in den Lampen zurückgebliebene Gasdruck darf nur wenige Tausendstel Millimeter *Hg* betragen. Mit Queck-

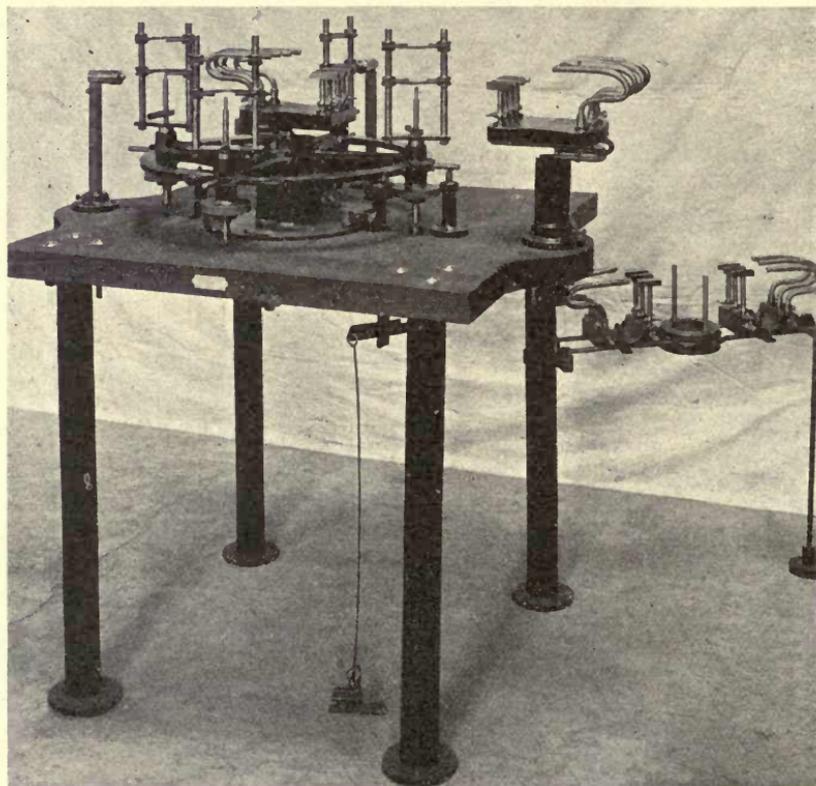


Fig. 56. Einschmelzmaschine.

silber- oder Ölpumpen kann man leicht das erforderliche hohe Vakuum erzielen. Während sich in neuester Zeit bei der Fabrikation der Kohlenfadenlampe die Ölpumpe immer mehr einbürgern konnte, werden bei der Wolframlampenfabrikation auch jetzt noch fast ausschließlich Quecksilberpumpen verwendet. Hier hat die rotierende Quecksilberpumpe von Gaede den ersten Platz erobert und die früher verwendeten Pumpen nach dem Sprengel- und Töppler-System fast vollständig verdrängt. Die Bauart und Arbeitsweise der verschiedenen Hochvakuum-pumpen wurde bereits recht oft in

verschiedenen Werken sehr genau und eingehend beschrieben (z. B. H. Weber, „Die elektrischen Kohleglühfadlampen, ihre Herstellung und Prüfung“, Silvanus P. Thompson, „The development of the mercurial air-pump“), so daß in diesem Buche von der Beschreibung dieser Pumpen abgesehen werden kann.

Wir wollen nur die in neuester Zeit bekannt gewordene Gaede-Molekularluftpumpe etwas näher beschreiben. Diese von der Firma E. Leybolds Nachfolger, Köln a. Rh., fabrizierte Pumpe besitzt so vorzügliche Eigenschaften, daß es zu erwarten ist, daß diese Pumpe sich in der Glühlampenindustrie

in Zukunft den ersten Platz erobern wird. Die Pumpe ist von Dr. Gaede im D. R. P. 239213 beschrieben und wurde auf ihre Eigenschaften und Leistungsfähigkeit durch von Dechent und

Hammer genau untersucht (von Dechent und Hammer, „Berichte der Heidelberger Akademie“ 1910, 21. Abh.; „Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik“ Bd. 8, S. 35 [1911]; Hammer, „Physik. Zeitschr.“ Bd. 12, S. 1077 [1911]). Da die Molekularpumpe bisher in keinem glühlampentechnischen Buch beschrieben wurde,

lassen wir hier eine genaue Beschreibung dieser sehr wichtigen Vakuumpumpe folgen. (Wir folgen hier zum Teil fast wörtlich der in den Prospekten der Firma E. Leybolds Nachfolger enthaltenen Beschreibung.) Durch Fig. 57 ist das Prinzip der Molekularluftpumpe gekennzeichnet. *A* ist ein um die Welle *a* drehbarer Zylinder, der von dem Gehäuse *B* umschlossen ist. In das Gehäuse *B* ist eine von *n* bis *m* reichende Nut eingefräst. Dreht sich *A* im Sinne des Uhrzeigers, so wird die Luft in der Nut infolge der Gasreibung von *n* nach *m* mitgerissen. Verbindet man die Öffnungen *n* und *m* mit einem Manometer *M*, so beobachtet man zwischen *m* und *n* eine Druckdifferenz. Diese Druckdifferenz ist um so größer, je schneller sich der Zylinder *A* dreht und je größer die innere Reibung der Gase ist. Da nach dem Maxwell'schen Gesetz die innere Reibung der Gase unabhängig ist von dem absoluten Gasdruck, muß bei verschiedenen Gasdrucken und gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit des

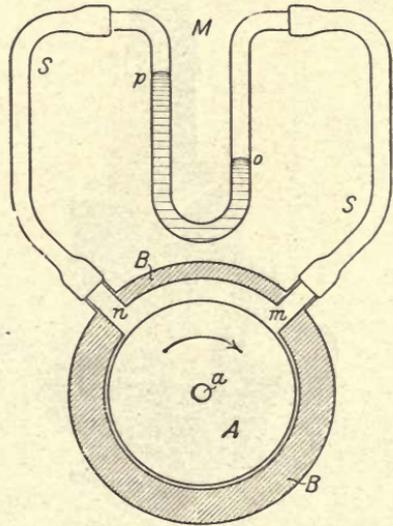


Fig. 57.

Zylinders *A* die Druckdifferenz unverändert bleiben. In unserem Versuch findet das Maxwellsche Gesetz die vollste Bestätigung. Beträgt die Druckdifferenz z. B. 10 mm *Hg*, so ist diese in allen Fällen gleich, gleichgültig, ob bei *m* ein Druck von z. B. 760, 200 oder 50 mm *Hg* vorhanden ist; bei *n* stellt sich immer ein um 10 mm *Hg* geringerer Gasdruck ein, also auf 750 bzw. 190 und 40 mm *Hg*. Bei unserem Versuch müßte somit, falls wir den Druck auf 10 mm herabsetzen, der Druck bei *n* gleich Null sein, falls auch bei den allerhöchsten Verdünnungen die Regel ihre Gültigkeit hätte.

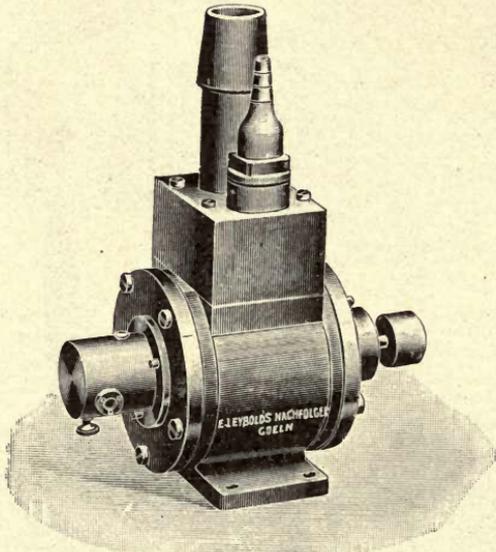


Fig. 58. Gae des Molekularluftpumpe.  
Außenansicht.

Tatsächlich aber gestaltet sich die Regel bei den niedrigsten Drucken komplizierter, indem hier nicht mehr die Druckdifferenz, sondern das Druckverhältnis unabhängig ist vom absoluten Gasdruck. Befindet sich in dem Gehäuse *B* hochverdünntes Gas, so finden die Zusammenstöße der Gasmoleküle untereinander nur sehr selten statt; die Moleküle stoßen fast ausschließlich mit den Wänden des evakuierten Raumes zusammen. Während nun bei ruhendem Zylinder *A* die

Reflexion gleichmäßig nach allen Richtungen stattfindet, wird die Reflexion bei bewegtem Zylinder in dem Sinne beeinflusst, daß die größte Zahl der Moleküle gegen *m* abgeschleudert werden, falls sich der Zylinder von *n* nach *m* bewegt. Der Effekt dieses Vorganges ist, daß von *n* dauernd Gas weggeführt und bei *m* aufgestapelt wird. Hierdurch entsteht bei *n* ein Verarmungsbereich von Molekülen, also ein Vakuum. Man erkennt hieraus, daß diese Vorrichtung, welche bei Atmosphärendruck als Luftpumpe wertlos ist, bei niederen Drucken in Verbindung mit einer Hilfspumpe sehr gute Resultate geben muß. Die neue Pumpe beruht auf einer technischen Ausnutzung des molekularen Mechanismus der Gase; die neue Pumpe ist eine „Molekularluftpumpe“. Die praktische Ausführung der Pumpe zeigen die Fig. 58 bis 60. Fig. 58 zeigt die Außenansicht der Pumpe allein, Fig. 59 zeigt die Querschnitte der Pumpe, während die Fig. 60

ein vollständig arbeitsfähiges Aggregat der Molekularluftpumpe und der Kapselluftpumpe nach Dr. Gaede mit den entsprechenden Antriebsmotoren darstellt. Die Konstruktion der Molekularluftpumpe wollen wir nach den Querschnitten betrachten. In dem Gehäuse *B* rotiert der Zylinder *A* um die Welle *a*, welche in den luftdicht aufgeschraubten Scheiben *E* gelagert ist. In dem Zylinder sind die Nuten *D* eingeschnitten. In die Nuten ragen die am Gehäuse befestigten Lamellen *C* hinein. *F* sind die Ölbehälter und *G* eine Stellvorrichtung, welche verhindert, daß die Lamellen *C* an die

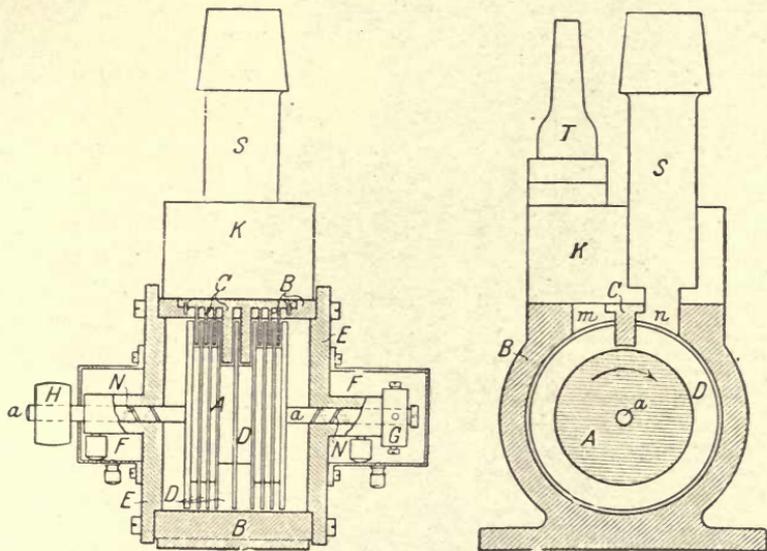


Fig. 59. Gaedes Molekularluftpumpe. Querschnitt.

Nutenwandungen des rotierenden Zylinders anstreifen. *H* ist die Riemenscheibe. Dreht sich *A* im Sinne des Uhrzeigers, so wird das Gas bei *m* verdichtet, bei *n* verdünnt. Auf dem Gehäuse *B* ist der Aufsatz *K* luftdicht aufgeschraubt. *S* ist das Saugrohr für das Hochvakuum und ist mit *n* verbunden, welches in die mittelste Nut mündet. Die Drucköffnung *m* ist durch Kanäle in dem Aufsatz *K* mit der Saugöffnung *n* einer benachbarten Nut verbunden, die Drucköffnung *m* dieser Nut ist dann wieder mit der Saugöffnung der nächsten Nut verbunden usw., so daß die Wirkungen der einzelnen Nuten sich addieren. Der Druck in der mittleren Nut ist am kleinsten und steigt gleichmäßig nach den beiden Enden des Zylinders bis zu dem Gasdruck, den die Hilfspumpe in dem Gehäuse erzeugt. Die Hilfspumpe ist durch einen Schlauch mit der Düse *T* verbunden und steht mit dem Innern des Gehäuses *B* in Verbindung. Die Ab-

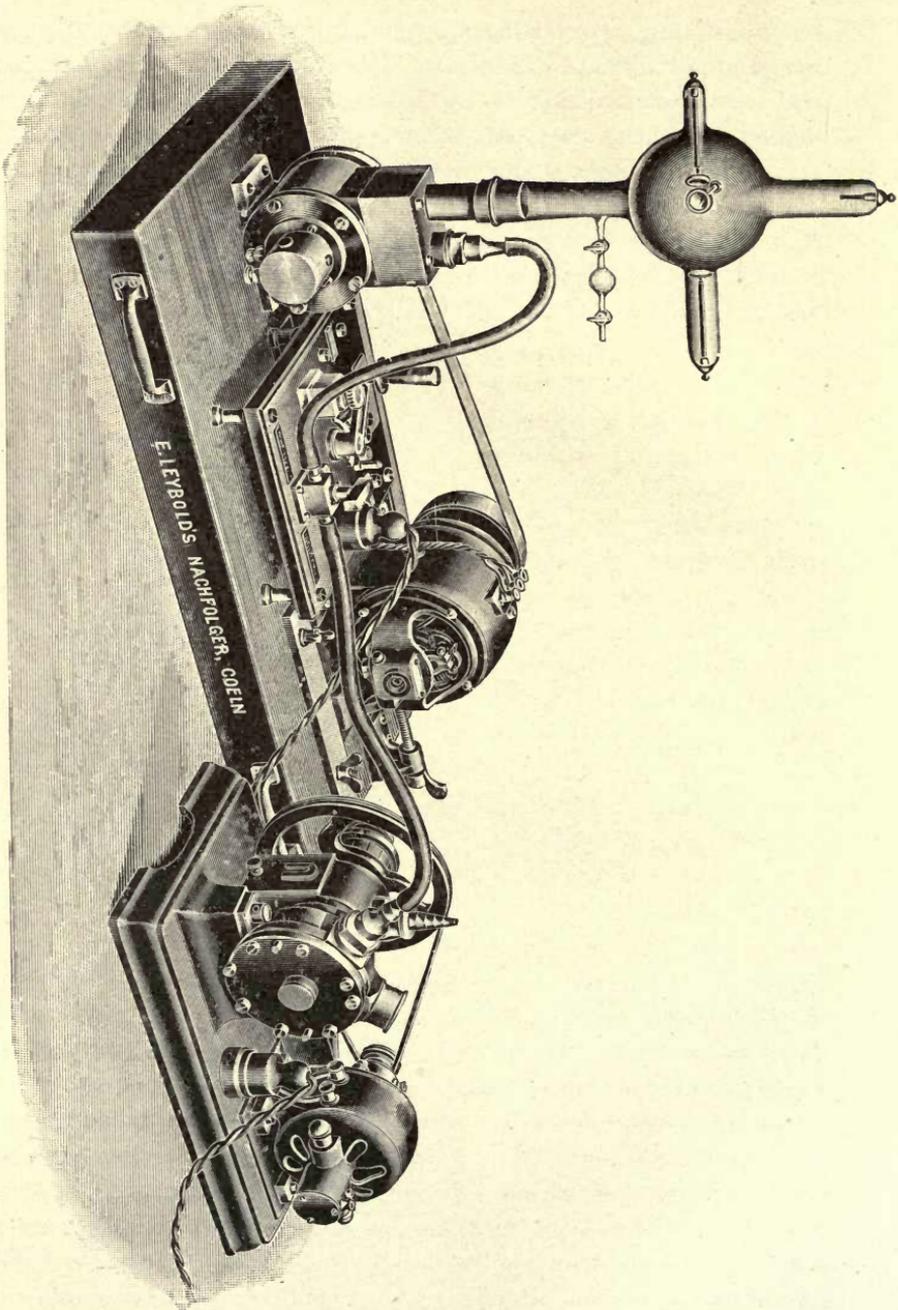


Fig. 66. Gades Molekular- und Kapselpumpe, zu einem Aggregat verbunden.

dichtung an der Durchführungsstelle der Welle ist durch Ölabschluß erreicht. Das Eindringen des Öles in das Pumpgehäuse ist durch eine in die Welle eingeschnittene Spiralnute verhindert, welche während der Rotation das Öl dynamisch entgegen dem äußeren atmosphärischen

Überdruck zurückdrängt. Diese einfache Vorrichtung hat sich bei Dauerbetrieb ausgezeichnet bewährt. Die Spiralnut hat nur dann ihre Wirkung, wenn die Welle rasch rotiert. Daraus ergibt sich als wesentlichste Vorschrift für die Bedienung der Pumpe, daß die Pumpe zuerst in Rotation versetzt und dann mit der Vorpumpe verbunden wird. Beim Abstellen muß zuerst Luft in die Pumpe eingelassen und dann der Motor, der die Pumpe antreibt, abgestellt werden. Das Antreiben der Pumpe geschieht mit einem Elektromotor von  $\frac{1}{3}$  P. S. und 3000 Touren in der Minute. Die Pumpe wird durch Riemenübertragung angetrieben und macht 8000 Touren in der Minute. Durch eine besondere selbsttätige Sperrvorrichtung am Anlasser des Elektromotors ist ein Irrtum beim Anlassen und Abstellen unmöglich gemacht. Vergleicht man die Leistungsfähigkeit der neuen Molekularluftpumpe mit der Leistung einer Quecksilberpumpe, so ergibt sich ohne weiteres die große Überlegenheit der Molekularluftpumpe. Folgende Tabelle zeigt die Resultate, welche bei einer großen Zahl von Prüfungen erhalten wurden. Beide Angaben beziehen sich auf die Entgasung eines 6 Liter-Rezipienten von 10 mm Hg Druck bei Benutzung der Gaedeschen Kapselpumpe als Vorpumpe. Die Prüfung der Quecksilberpumpe geschah unter Anwendung von Trockenmitteln, die der Molekularluftpumpe ohne solche.

Gaede-Quecksilberpumpe		Gaede-Molekularluftpumpe	
Druck in Millimeter Hg		Druck in Millimeter Hg	
Nach 5 Minuten . . . .	0,009	Nach 2 Minuten . . . .	0,000 3
" 10 " . . . .	0,000 3	" 3 " . . . .	0,000 01
" 15 " . . . .	0,000 01	" 4 " . . . .	0,000 002

Während man also mit der Gaede-Quecksilberpumpe ein Vakuum von 0,00001 mm Hg im Durchschnitt nach etwa 15 Minuten erhält, wird dasselbe Vakuum mit der Molekularluftpumpe in 3 Minuten erreicht, und dies ohne Anwendung irgend welcher Trockenmittel. Die letzterwähnte Tatsache zeichnet die neue Molekularluftpumpe vor allen bisher bekannten Pumpen besonders aus. Die Molekularluftpumpe saugt ebensogut die Gase als die Dämpfe ab, so daß bei dieser, im Gegensatz zu allen anderen Pumpen, kein Phosphor-pentoxyd oder sonstiges Trockenmittel verwendet zu werden braucht. Den Zusammenhang zwischen der Tourenzahl  $n$  in der Minute der Molekularluftpumpe, dem an der Saugdüse gemessenen Druck  $p_2$  und dem Druck  $p_1$  im Gehäuse, der mit Hilfe der Gaedeschen Kapselpumpe eingestellt wurde, zeigt die folgende Tabelle:

"	$p_1$	$p_2$	"	$p_1$	$p_2$
4000	20	3	4000	I	0,000 3
6200	20	0,8	6200	I	0,000 05
8200	20	0,005	8200	I	0,000 02
4000	10	0,08	4000	0,1	0,000 03
6200	10	0,002	6200	0,1	0,000 01
8200	10	0,000 5	8200	0,1	0,000 002

Man ersieht aus der Tabelle, daß das erzielte Vakuum um so höher ist, je größer die Tourenzahl und je niedriger der Druck im

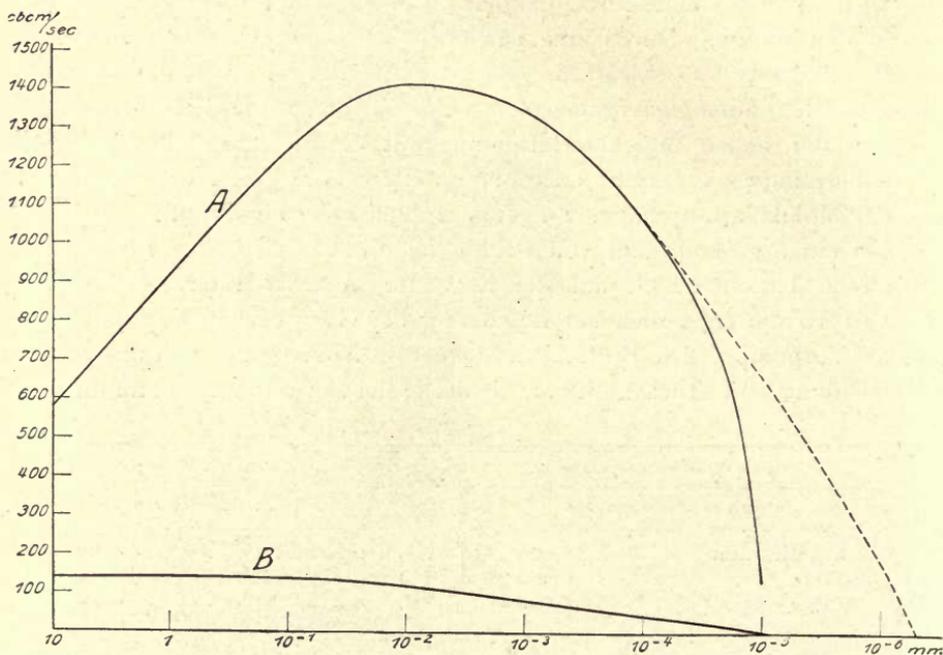


Fig. 61. Saugleistungskurven; *A* der Molekularluftpumpe, *B* der Quecksilberpumpe.

Gehäuse ist. Schließlich zeigt noch das Diagramm Fig. 61 die Saugleistung der Molekularluftpumpe im Vergleich mit der gewöhnlichen Gaede-Quecksilberpumpe. *A* ist die Saugleistungskurve der Molekularluftpumpe, *B* die der Quecksilberpumpe. Als sehr wesentlicher Vorteil der neuen Molekularluftpumpe bei der Verwendung für Glühlampenzwecke darf auch schließlich der Umstand bezeichnet werden, daß die Pumpe quecksilberfrei ist, somit auch das Auftreten des schädlichen Quecksilberdampfes in den Lampen ausgeschlossen ist. Es ist zu erwarten, daß durch die Einführung der neuen Molekularluftpumpe bei der Glühlampenfabrikation sehr wesentliche Ersparnisse an der für das Pumpen der Glühlampen nötigen Zeit und

weitere Verbesserung der Lampenqualität selbst sich erzielen lassen werden.

Das Pumpen der Lampen geschieht in dem sogen. Pumpkasten. Der Pumpkasten, Fig. 62 (Fabrikat der Firma Gebrüder Köppe in Berlin), stellt einen Tisch vor, in welchem sich ein vielfach ver-

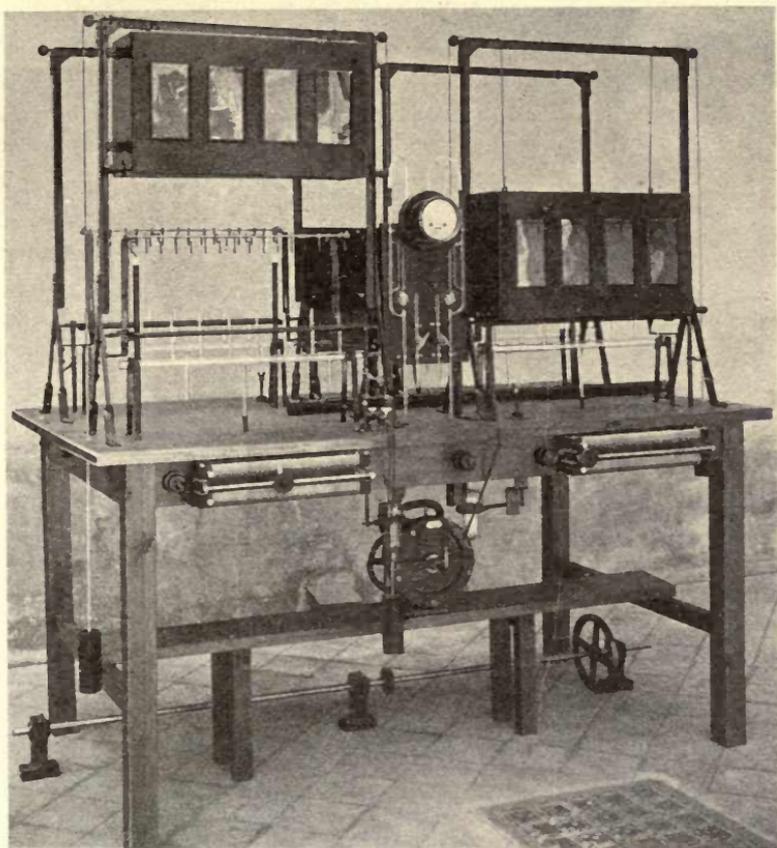


Fig. 62. Pumpkasten.

zweites System von Glasröhren befindet, welches einerseits in die Hochvakuum-pumpe mündet, andererseits in vielfachen, gabelförmig gestalteten Röhrcn endet, an welche die Glühlampen angeschlossen werden. Der Anschluß wird gewöhnlich durch einfaches Anschmelzen der Lampenstengel an die Röhrcn der Pumpgabeln besorgt. Sehr praktisch ist auch die von E. Leybolds Nachfolger in Köln a. Rh. eingeführte Anordnung (siehe Fig. 63), nach welcher sowohl die Enden der Pumpgabeln, wie auch die Lampenpumpstengel mit in-

einander passenden konischen Normalschliffen ausgestattet sind und durch einfaches Aufsetzen die Lampen mit dem Pumpsystem luftdicht verbunden werden können. Die Röhrenleitungen sind bei dem

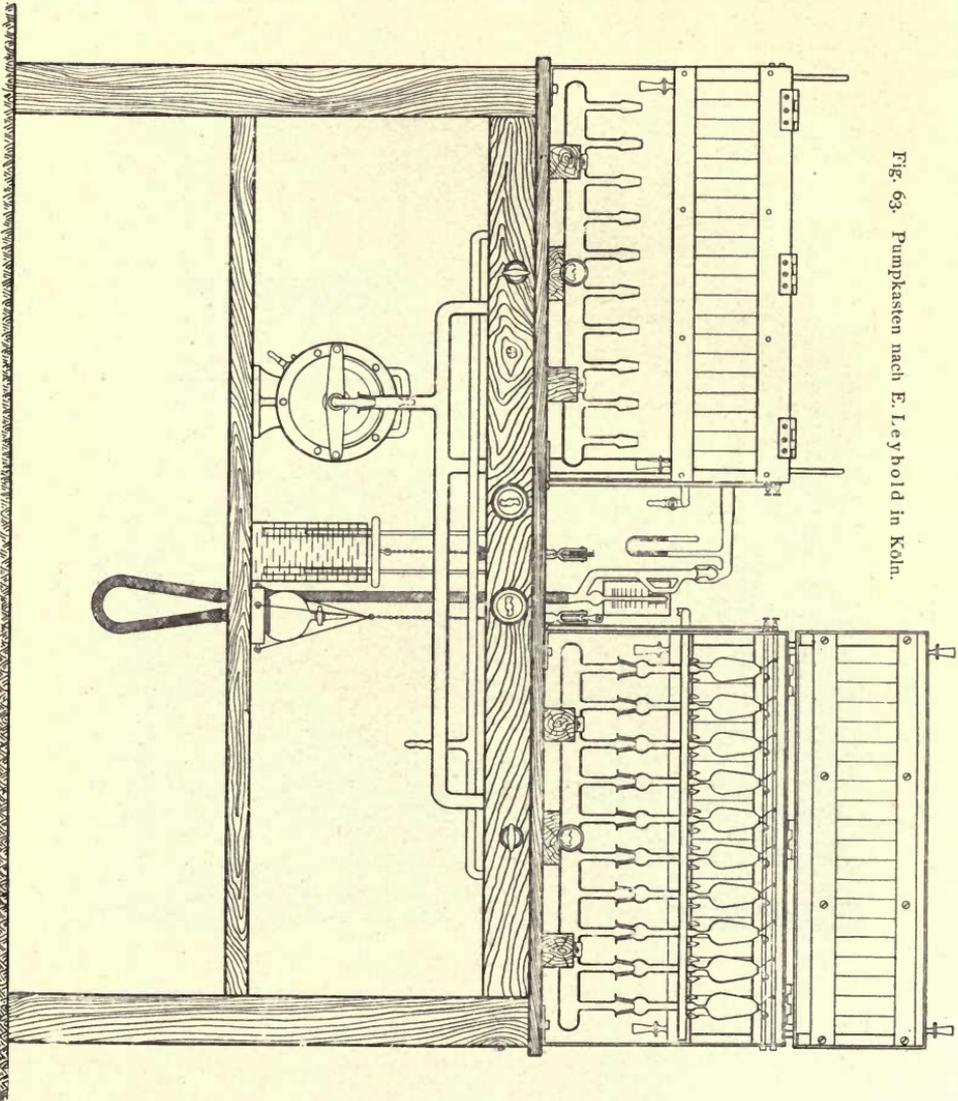


Fig. 63. Pumpkasten nach E. Leybold in Köln.

System von Leybold ganz besonders günstig dimensioniert und zwischen den Lampen und der Pumpe ein sehr praktischer Phosphorkessel zum Trocknen der von den Lampen abziehenden feuchten Gase eingeschaltet (siehe Fig. 64), bei welchem ein Verstäuben des Trockenmittels bei plötzlich eintretenden Undichtigkeiten der Lampen

unmöglich ist. Die aus dem Lampenfuß führenden Zuführungsdrähte werden mit den an passenden Stellen befindlichen Leiterschienen verbunden, wodurch jederzeit während des Pumpens die Lampen unter Strom gesetzt werden können. Nach dem Anschluß der Lampen wird über dieselben ein Kasten, welcher mit Glimmerfenstern versehen ist, geschoben und welcher gestattet, die Lampen von außen während des Pumpens zu erhitzen. Der Vorgang des Pumpens geht nun in folgender Weise vor sich: Zunächst werden die Gasbrenner im Pumpkasten angezündet und die Lampen auf eine Temperatur von 300 bis 400<sup>o</sup> C gebracht. Diese hohe Erhitzung der Lampen

von außen ist deshalb notwendig, weil sich sonst das durch die Innenwände der Lampenglocken sehr hartnäckig adsorbierte Wasser durch einfaches Pumpen nicht vollständig entfernen läßt.

Die Lampen werden zunächst mit der Vakuumleitung verbunden und vermittelst einer gewöhnlichen Kolbenpumpe auf etwa 10 mm Hg Gasdruck ausgepumpt. Sodann verbindet man die

Lampen durch einfaches Verstellen der Glashähne mit der Hochvakuumleitung. In kurzer Zeit werden die Lampen durch die Quecksilberpumpen vollständig ausgepumpt. Ist das hohe Vakuum in den Lampen erzielt, was sich leicht durch ein gewöhnliches MacLeod-Manometer feststellen läßt, so beginnt man mit dem Austreiben der in dem Leuchtdraht adsorbierten Gase, indem man denselben durch elektrischen Strom während des Pumpens allmählich auf immer höhere Glut bringt.

Sind auf diese Weise die letzten in der Glühlampe enthaltenen Gase entfernt und zeigt das MacLeod-Manometer trotz des gleichzeitigen Brennens der Lampen ein Vakuum von nur wenigen Tausendstel Millimeter Hg, so ist der Pumpprozeß beendet, und die Lampen können von der Pumpe abgeschmolzen werden. Zum Abschmelzen, dem sogen. Abstechen der Lampen, bedient man sich kleiner Handgebläse, mit welchen die Pumpstengel ganz nahe an

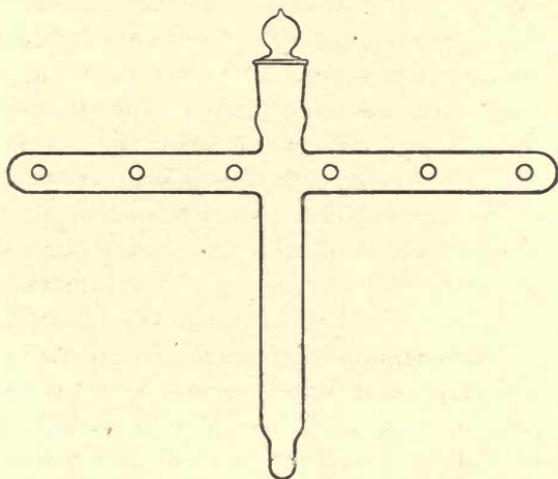


Fig. 64. Phosphorkessel nach E. Leybold.

der Glühlampenglocke erhitzt werden, bis die weich gewordenen Wände des Pumpstengels zusammenfallen, worauf durch schnelles Entfernen der Lampen nur eine winzige, dicht verschmolzene Spitze an der Lampe zurückbleibt.

Die auf die beschriebene Weise gepumpten Lampen besitzen noch keineswegs immer ein genügend gutes Vakuum. Es zeigen sich sehr oft wesentliche Unterschiede in dem Verhalten der Glühlampen während der Brennzeit, die unbedingt auf die verschiedenen Mengen und Zusammensetzung der in den Lampen zurückgebliebenen Gase zurückzuführen sind. Die Ursache dieser Erscheinung ist darin zu suchen, daß sowohl an den Glühlampenwänden als auch im Leuchtkörper und dem Haltermaterial wechselnde Mengen von Gasen zurückgehalten werden, welche langsam während des Brennens der Lampen in den Gasraum entweichen und dadurch das Vakuum wie die Lampenqualität verschlechtern. Es ist eine sehr große Anzahl von Vorschlägen bekannt, nach welchen sich die lästigen Erscheinungen, welche die Fabrikation einer gleichmäßigen Lampenqualität außerordentlich erschweren, vermeiden lassen. Die Allgemeine Elektrizitäts-A.-G. schlägt in einem Patent (D.R.P. 253237 vom 22. Oktober 1911) vor, die Glühlampen von außen auf eine wesentlich höhere Temperatur, als es sonst bisher gebräuchlich war, während des Pumpens zu erhitzen. Da aber die Glühlampenglocken aus leicht schmelzbarem Glas bestehen und infolgedessen bei einer Erhitzung von über  $400^{\circ}$  C durch den Atmosphärendruck leicht zusammengedrückt werden können, schlägt die Erfinderin vor, den Pumpkasten, in welchem die Lampen erhitzt werden, auch zu evakuieren, so daß während der Erhitzung der Lampen der Druck auf der Außenseite der Lampen annähernd gleich ist demjenigen im Innern derselben. Die fast ganz entgegengesetzte Maßregel wird von der Firma Felten-Guilleaume-Lahmeyerwerke getroffen. Beim Pumpen tritt oft die unangenehme Erscheinung ein, daß die Lampenglocken einen schwarzen Beschlag erhalten, trotzdem der während des Pumpens erhitzte Leuchtkörper kaum seiner Normalbelastung ausgesetzt wird. Um diese Erscheinung zu vermeiden, schlägt die Firma vor, die Glühlampen nach einer Vorwärmung während des Entlüftens abzukühlen. Es ist wohl möglich, daß bei solcher Anordnung das Schwarzwerden der Glühlampen während des Pumpens verhütet werden kann. Dies bedeutet aber keinen Vorteil, eher einen Nachteil für die Fabrikation, da solche Lampen, welche schon während des normalen Pumpvorganges schwarzen Beschlag erhalten, fehlerhaft sind und sich während der Brennzeit ungünstig verhalten, wenn es

auch durch besondere Vorsichtsmaßregeln gelingen sollte, das Schwarzwerden während des Pumpens zu verhindern. Das Pumpen unter Normalbedingungen ist somit auch als ein Auslesevorgang zu betrachten, der für die Erzeugung von Lampen von gleichmäßiger und guter Qualität sehr erwünscht ist. Es sind auch viele Vorschläge bekannt, den Pumpvorgang durch besondere chemische Reaktionen zu unterstützen und zu verbessern. Arturo Malignani in Udine (D. R. P. 82076 vom 11. Februar 1894) beschreibt ein Verfahren, nach welchem es möglich wird, das Vakuum der Lampen wesentlich zu verbessern. Das Verfahren bezieht sich zwar nur auf die Kohlenfadenlampe, wurde aber nach der Einführung der Metalldrahtlampen auch bei diesen mit großem Erfolg verwendet. Das Verfahren beruht darauf, daß die auf gewöhnliche Weise entlüfteten und abgeschmolzenen Glühlampen einen Ansatz besitzen, in welchem sich amorpher roter Phosphor befindet. Der Ansatz wird nun bis zur Verdampfung des Phosphors erwärmt, gleichzeitig der Leuchtkörper in der Lampe durch elektrischen Strom derart stark überhitzt, daß alle okkludierten Gase aus diesem unter Bildung eines blauen Lichtscheines, welcher die ganze Lampe erfüllt, entweichen. Die Phosphordämpfe verbinden sich mit diesen Gasen zu nicht flüchtigen weißen Verbindungen, welche sich auf die Glocke niederschlagen. In kurzer Zeit verschwindet trotz der Überhitzung des Leuchtkörpers der blaue Schein, und in der Lampe ist bereits ein vorzügliches Vakuum entstanden. Nach beendeter Operation wird schließlich der mit Phosphor beschickte Ansatz von der Lampe abgeschmolzen. Bei den Metalldrahtlampen wurde das Verfahren oft in der Weise ausgeführt, daß eine wässrige Suspension von rotem Phosphor in die Lampen vor dem Pumpen eingespritzt wurde. Die Glühlampen wurden nun in gewöhnlicher Weise entlüftet und abgeschmolzen. Nun wurde der Leuchtkörper bis zur Bildung des blauen Lichtes überhitzt und gleichzeitig die Stelle der Glühlampe erwärmt, an welcher sich der rote Phosphor befand. Der Phosphordampf bildete sodann in der kürzesten Zeit in der vorher beschriebenen Weise ein ausgezeichnetes Vakuum. In neuester Zeit wurde von Karl Schwab in Berlin (Ungarische Patentanmeldung Sch. 2447 vom 17. Juli 1911) ein besonderes Verfahren zur Entlüftung von Metalldrahtlampen mit Hilfe des roten Phosphors beschrieben, welches sich insbesondere für die modernen Glühlampen mit duktilem Wolframglühkörper sehr gut eignet. Die nach dem Verfahren der G. E. C. hergestellten Wolframdrähte besitzen den bisher noch unbehobenen Nachteil, durch kurzes Erhitzen auf hohe Temperatur wieder ganz spröde zu werden. Würde man

deshalb das Entlüften der Lampen in alter Weise bei gleichzeitigem Unterstromsetzen der Leuchtkörper ausführen, so würden schon nach dem Pumpen Lampen mit spröden Wolframdrähten resultieren und dadurch alle Vorteile, die man sonst bei weiteren Operationen und Transport der Lampen mit duktilen Drähten haben könnte, entfallen. Das Verfahren von Karl Schwab macht nun ein solches Unterstromsetzen der Lampen beim Pumpen überflüssig. Zu diesem Zwecke wird vor dem Einschmelzen des Traggestelles in die Glocke der obere Teil des Gestelles mit den Haltern in eine Suspension von amorphem Phosphor eingetaucht, wodurch derselbe an den Haltern und Buchtstellen des Leuchtkörpers untergebracht wird. Nun wird das Leuchtkörpergestell in die Glocke eingeschmolzen und die Lampe in gewöhnlicher Weise bei etwa  $400^{\circ}\text{C}$  evakuiert, ohne den Leuchtkörper durch den elektrischen Strom gleichzeitig zum Glühen zu bringen. Die Lampe wird abgeschmolzen, um erst im Bedarfsfalle zum ersten Male unter Strom gesetzt zu werden. Dabei empfiehlt es sich, mit einer Stromstärke, die ungefähr halb so groß ist als die normale Betriebsstromstärke, zu beginnen und diese allmählich bis zur normalen Betriebsstromstärke zu steigern. Hierbei spielen sich zwei Vorgänge parallel ab: Erstens entweichen aus dem zum erstenmal erhitzten Leuchtkörper die absorbierten Gase, welche das Vakuum verschlechtern. Gleichzeitig aber wird der rote Phosphor, welcher sich im Innern der Glühlampe an solchen Teilen befindet, die beim Erhitzen des Leuchtkörpers fast sofort auf höhere Temperatur kommen, verdampft und bindet die aus dem Leuchtkörper entwickelten Gase unter Wiederherstellung eines vorzüglichen Vakuums. Dieses Verfahren stellt einen wesentlichen Fortschritt in der Fabrikation der modernen Wolframdrahtlampen vor, wiewohl es sich prinzipiell kaum von dem alten Malignani-Verfahren unterscheidet.

Wir haben bei der Besprechung des Phosphorpumpens erwähnt, daß durch die Überhitzung des Leuchtkörpers bei gewöhnlich gepumpten Glühlampen ein blauer Schein auftritt, der die Glühlampe ganz erfüllt. Dieser blaue Schein, welcher zweifellos eine Gasentladung darstellt, wird wahrscheinlich dadurch verursacht, daß durch die Überhitzung des Leuchtkörpers aus diesem Gase entweichen, welche das Glühlampenvakuum derart verschlechtern, daß der Gasraum eine wesentliche Leitfähigkeit erhält und eine Entladung zwischen den einzelnen Fadenbügeln durch den Gasraum hindurch ermöglicht. Das Eintreten des blauen Scheines in der Glühlampe deutet somit zweifellos auf ein schlechtes Vakuum hin. Daß diese Erscheinung auf das nachträgliche Entweichen der Gase aus dem

überhitzten Leuchtkörper zurückzuführen ist, beweist der Umstand, daß der blaue Schein mit besonderer Intensität bei den Hochkerzenlampen auftritt, bei welchen infolge des relativ dicken und langen Leuchtkörpers große Gasmengen bei Überhitzung desselben entwickelt werden. Überhitzt man die Lampen längere Zeit hindurch, so bemerkt man, daß nach einiger Zeit (1 bis 10 Minuten) der blaue Schein immer schwächer wird und schließlich ganz verschwindet. Eine solche Lampe besitzt dann ein vorzügliches Vakuum. In welcher Weise diese Erscheinung zustande kommt, ist noch nicht bekannt. Die A. E. G. benutzt diese Tatsache zur Verbesserung des Lampenvakuums (D. R. P. 222182 vom 14. Januar 1906). Eine andere Methode, welcher sich die A. E. G. bedient, um in den unvollständig entlüfteten Lampen ein vorzügliches Vakuum zu erzeugen, ist in dem D. R. P. 212427 vom 7. September 1907 beschrieben. Das Verfahren beruht darauf, daß die Lampen zuerst in gewöhnlicher Weise entlüftet und sodann mit einem Gefäß verbunden werden, durch welches bei gleichzeitigem Verdampfen von Phosphor Hochspannungsentladungen durchgeschickt werden. Infolge der Entladungen schlägt sich der Phosphordampf an die Elektroden in kurzer Zeit nieder und reißt alle im Raume vorhandenen Gasreste mit, wodurch schließlich ein vorzügliches Vakuum entsteht. Andere Firmen bedienen sich rein chemischer Reaktionen, ähnlich dem Phosphorpumpverfahren, zur Erzeugung einer vollständigen Luftleere. Zu diesem Zweck werden in die Glühlampe oder in einen Raum, der mit der Glühlampe kommuniziert, Stoffe eingeführt, welche erhitzt, mit den noch vorhandenen Gasresten in Reaktion treten und mit diesen nicht flüchtige Verbindungen bilden. Frederic Soddy in Glasgow (D. R. P. 191788 vom 20. März 1906) hat hierfür Kalzium, Strontium und Bariummetall, die Wolframlampen-A.-G. (D. R. P. 246264 vom 17. Februar 1911) das metallische Cer und Titan, Heinrich Gethe in Rixdorf (D. R. P. 191788 vom 20. Februar 1907) das Kalziumkarbid vorgeschlagen, welche Stoffe im erhitzten Zustande fast alle Gase, wie Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff absorbieren und deshalb zur Bindung der nach dem gewöhnlichen Pumpen zurückgebliebenen Gasreste gut verwendet werden können. Mit Ausnahme des Phosphorpumpverfahrens scheinen die meisten eben genannten Vorschläge für die Praxis wenig Wert zu besitzen, da eine in gewöhnlicher Weise sorgfältig entlüftete Lampe, wenn sie sonst keine Fehler besitzt, durchaus allen Anforderungen entspricht.

Trotzdem beim Pumpen unmittelbar vor dem Abstechen der Lampen das in diesen erzeugte Vakuum gemessen wird, muß an

den bereits zugeschmolzenen Lampen nochmals eine Vakuumprüfung erfolgen. Dieses ist deshalb erforderlich, weil oft nachträglich bei den von der Pumpe abgestochenen Lampen infolge der Abkühlung Glassprünge vorkommen oder manchmal beim Abstechen selbst etwas Luft in die Lampen eindringen kann. Die bequemste und einfachste Vakuumprüfung an geschlossenen Lampen ist die, welche auf Beobachtung von Entladungserscheinungen beruht. Verbindet man die Stromzuführungen einer Glühlampe mit den Polen eines Ruhmkorff-Induktoriums, so beobachtet man je nach der Güte des vorhandenen Vakuums in der Lampe verschiedene Erscheinungen. Ist das Vakuum vorzüglich, so bleibt der Gasraum der Lampe bei der Prüfung vollkommen dunkel. Auf etwas schlechteres Vakuum deutet ein schwacher grünlicher Lichtschein, während das Auftreten hellblauen oder gar violetten Lichtes in dem Lampengasraum auf ein schlechtes Vakuum hinweist. Solche Lampen müssen, falls sie nicht unausbesserliche Glassprünge enthalten, nochmals ausgepumpt werden. Viel einfacher noch und rascher geht die Vakuumprüfung der Lampen am Tesla-Induktor vor sich. Während bei der Prüfung mit dem gewöhnlichen Induktorium die einzelnen Lampen gesondert geprüft werden müssen, kann man durch Aufsetzen eines Kastens mit einer großen Anzahl von Glühlampen auf eine blechförmig gestaltete Elektrode eines Tesla-Induktoriums sofort die schadhaften Lampen entdecken, da bei der ungemein hohen Spannung des Tesla-Transformators bloß eine Annäherung der Glühlampen genügt, um die beschriebenen Entladungserscheinungen hervorzurufen.

Nach dieser Prüfung wandern die Lampen in das Photometer. Die Lampen werden mit der Spitze nach unten senkrecht eingehängt und, damit durch die gegenseitige Beschattung einzelner Fadenbündel keine Zufallswerte bei der Lichtmessung resultieren, in Rotation versetzt. Die Lichtstärke der Lampen wird in horizontaler Richtung, senkrecht zu der Fadenrichtung, bestimmt. Die an den Wolframlampen bezeichnete Kerzenzahl bedeutet die mittlere horizontale Lichtstärke derselben. Als Normallampen dienen von der Reichsanstalt geprüfte Glühlampen oder bei länger dauernden Messungen andere fehlerfreie Glühlampen, deren Lichtstärke durch unmittelbaren Vergleich mit der Normallampe festgestellt wurde. Die Beleuchtungsstärke am Photometer soll 30 Lux nicht wesentlich überschreiten. Dementsprechend ist die Länge der Photometerbank zu wählen. Für die meisten gebräuchlichen Lichtstärken (bis zu 100 HK.) genügt eine Banklänge von 2,5 m und eine Lichtstärke der Normallampe von 10 bis 16 HK. Während der Lichtmessung wird die den Lampen

zugeführte Stromstärke so lange verändert, bis die der Lampe zugeführte Wattzahl, durch die gleichzeitig gemessene Lichtstärke dividiert, die gewünschte Watt/HK.-Belastung zeigt. Lampen, welche im Parallelbetrieb und Einzelschaltung brennen sollen, dürfen ohne weiteres bei ungefähr gleicher Belastung kleine Stromunterschiede aufweisen, während Lampen, welche für Serienschaltung bestimmt sind, bei der gleichen Belastung möglichst gleiche Stromstärken

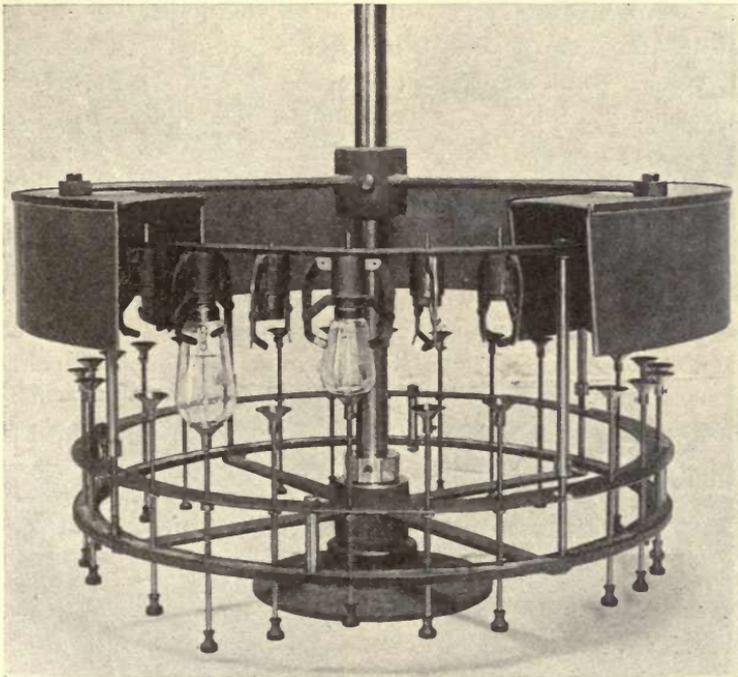


Fig. 65. Sockelkittmaschine.

aufweisen müssen. Lampen, welche mit dem nach alten Formierverfahren hergestellten Wolframdrähten versehen waren, mußten einige Stunden vor dem Photometrieren gebrannt werden, da sich die Fäden in den ersten Brennstunden stark veränderten. Das Photometrieren konnte erst dann einsetzen, wenn sich die Stromverhältnisse der Lampen halbwegs beruhigt und stationären Zustand erreicht haben. Dies war gewöhnlich nach einer Brennzeit von 2 bis 4 Stunden der Fall. Wohl geht bei solchen Lampen die Sinterung noch längere Zeit vor sich, welcher Vorgang sich in den ersten 100 Stunden der Brennzeit durch Zunahme der Lichtstärke kundgibt; diese Änderung ist aber nicht mehr beträchtlich, so daß in den meisten

Fällen das Vorbrennen in der Dauer von 2 bis 4 Stunden als ausreichend bezeichnet werden darf. Lampen mit gezogenen Wolframleuchtkörpern zeigen ähnliche Erscheinungen nicht, da der Leuchtkörper infolge seiner glatten Oberfläche durch Sinterung diese nicht weiter verringern kann, wodurch ein Ansteigen der Belastung unmöglich wird.

Als Endoperation bleibt noch schließlich das Anbringen der Kontaktsockel an die Lampen zu erwähnen. Sehr zweckmäßig ist hierfür die in Fig. 65 dargestellte Kittmaschine (Fabrikat der Firma Gebrüder Köppe in Berlin), mit welcher man in kurzer Zeit eine große Anzahl von Lampen mit Sockeln versehen kann. Der Kitt, mit welchem die Sockel an die Lampen befestigt werden, besteht aus Alabastergips, dem zur Verlangsamung der Erhärtungszeit eine alkoholische Schellacklösung zugesetzt wurde. Eine geringe Menge dieser Gipsmasse wird in den Sockel gestrichen, worauf dieser auf die Lampe aufgesetzt und mit dieser zugleich in passende Zangen, deren Konstruktion aus der Abbildung deutlich hervorgeht, in die Kittmaschinen eingespannt wird. Die eingespannten Lampen wandern in den geheizten Kasten der Kittmaschine und die Erhärtung der Sockelmasse geht in der Wärme in kurzer Zeit vor sich. In 1 Stunde lassen sich mit dieser Kittmaschine ungefähr 150 Lampen sockeln.

## Das Verhalten der Wolframlampe beim Brennen.

### Der Wolframleuchtkörper.

Nach längerer Brenndauer zeigen die Wolframleuchtkörper merkwürdige Veränderungen, welche die mechanischen Eigenschaften derselben sehr wesentlich beeinflussen und für die Lebensdauer der Lampen eine sehr wichtige Rolle spielen. Der ursprünglich glatte Draht erhält eine unebene glitzernde Oberfläche, welche, durch das Mikroskop betrachtet, nach verschiedenen Richtungen ausgebildete kleine Kristallflächen aufweist. Der runde Querschnitt des Drahtes geht dabei verloren, der ganze Leuchtdraht erscheint aus kleinen Kristallen zusammengesetzt, deren Kanten und Ecken aus der Oberfläche hervorragen. Ein solches Bild zeigt z. B. Fig. 66, in welcher ein mit Gleichstrom 1000 Stunden gebrannter

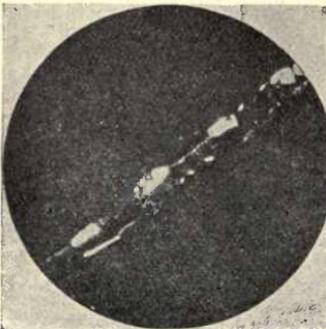


Fig. 66.

Wolframfaden dargestellt ist. Fig. 67 u. 68 zeigen die Abbildungen eines gewöhnlichen gespritzten bzw. gezogenen Wolframdrahtes vor der Benutzung. Das Auftreten der kristallinen Struktur beim Leuchtkörper hat eine wesentliche Verringerung seiner mechanischen Festigkeit zur Folge. Es ist die Hauptursache des frühzeitigen Brechens der Fäden. Viel intensivere Veränderungen erleidet der Wolframdraht beim

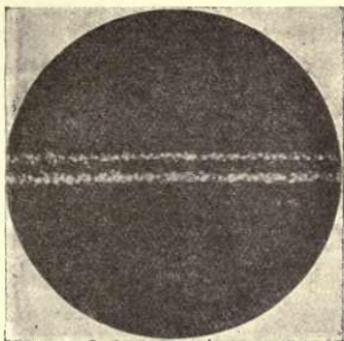


Fig. 67.

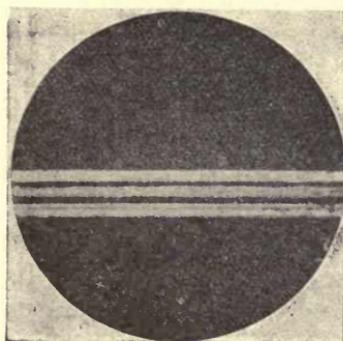
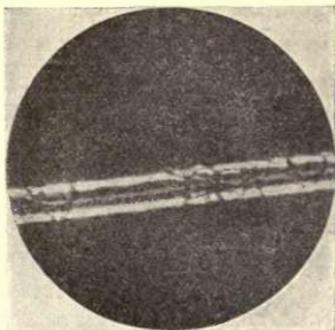
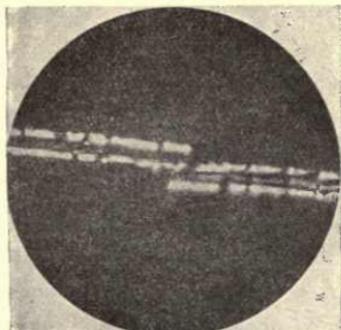


Fig. 68.



a) Nach 600 Stunden Brennzeit.



b) Nach 1000 Stunden Brennzeit.

Fig. 69. Mikrophotographie eines auf Wechselstrom gebrannten Wolframfadens.

Brennen im Wechselstrom. Das Auftreten der kristallinen Struktur geschieht hier noch viel früher als beim Brennen mit Gleichstrom. Die Kristalle erleiden oft an den Berührungsflächen Risse und Verschiebungen senkrecht zur Längsrichtung der Leuchtkörper und halten infolge solcher Verschiebungen oft nur mit ganz geringen Flächen zusammen (Fig. 69a u. b). Abgesehen von der wesentlich geringeren Festigkeit solcher Stellen werden dieselben beim Durchgang des Stromes stark überlastet und infolge Zerstäubung dem frühzeitigen Ende durch Bruch oder Durchschmelzen entgegengeführt. Die ge-

zogenen Wolframdrähte besitzen hierin vor den nach dem ältern Formierverfahren hergestellten Fäden keine Vorteile, ja es scheint sogar, daß die gezogenen Wolframdrähte größere Neigung zu solchen schädlichen Veränderungen während der Brenndauer besitzen. Die Ursachen, welche die besprochenen Veränderungen hervorrufen, scheinen elektrischer und magnetischer Natur zu sein. Es war bereits seit langem die Tatsache bekannt, daß der Durchgang des elektrischen Stromes durch Metalle Rekristallisationserscheinungen in denselben hervorruft. So wird z. B. der für elektrische Leitungen verwendete Kupferdraht schon bei gewöhnlicher Temperatur infolge des Durchganges des elektrischen Stromes, insbesondere Wechselstromes, grobkristallin und spröde. Bedenkt man die ungeheuren Stromdichten im brennenden Wolframleuchtdraht — bis zu 50000 Amp/qcm — und die für Rekristallisationserscheinungen sehr günstige, außerordentlich hohe Temperatur des Leuchtkörpers, so findet man das Auftreten der besprochenen Erscheinungen sehr begreiflich. Die Rekristallisationserscheinung kann auf elektrische und thermische Ursachen zurückgeführt werden. Wohlbekannt ist die Tatsache, daß die Metalle allein durch längere Erhitzung grobkristallin werden, da die größeren Kristalle nach ganz allgemein gültigen Gesetzen die Tendenz besitzen, auf Kosten der kleineren zu wachsen, und dieser Vorgang durch die Temperaturerhöhung begünstigt wird. Auf welche Weise der elektrische Strom als solcher Rekristallisationserscheinungen bewirken könnte, darüber kann man nichts Bestimmtes sagen. Vielleicht kann man aber dafür die schöne Hypothese von Johannes Stark benutzen („Physik. Zeitschr.“ 1912), nach welcher die Elektronen in den Metallkristallen bei Stromdurchgang nur in bestimmten, gitterförmig angeordneten Richtungen sich fortbewegen sollen. Grenzen zwei Kristalle mit ihren Oberflächen derart aneinander, daß die Wanderungsrichtung der Elektronen beim Durchgang aus dem einen in das andere Kristall geändert werden muß, so ist zu erwarten, daß die in ihrer Bewegungsrichtung gehinderten Elektronenschwärme, umgekehrt, so lange auf das Hindernis entgegenwirken werden, bis die Orientierung der angrenzenden Metallkristalle genau die gleiche wird, wodurch in weiterer Linie das Zusammentreten derselben zu einem einzigen Kristall wesentlich erleichtert werden dürfte.

Neben der Rekristallisation dürften auch die im Faden auftretenden elektromagnetischen Kräfte als Ursachen der Veränderung der Leuchtkörper angesehen werden. Jedem elektrischen Strom entspricht ein proportionaler magnetischer Strom, welcher den

elektrischen Leitungsfaden in Kreisen umgibt. Die magnetischen Kraftlinien haben eine zusammenziehende Tendenz, die Folge davon ist, daß die den elektrischen Leiter umgebenden kreisförmigen Kraftlinien radial gegen den Leiter zusammengepreßt werden und eine Art Kneifwirkung hervorrufen („Electrical World“, 9. Februar 1911; „Transactions American Electrochem. Soc.“, Bd. 15 [1908]). Außerdem stoßen sich die einzelnen kreisförmigen magnetischen Kraftlinien infolge gleicher Polarität gegenseitig ab und üben eine streckende Wirkung auf den Leiter aus („Journ. Franklin-Institut“, Januar 1911, S. 73). Da die Stromdichten in den Wolframleuchtkörpern sehr groß sind, erreichen auch die magnetischen Kräfte eine merkliche Größe. So berechnet sich z. B. bei einem Wolframfaden von 0,02 mm Durchmesser und 0,145 Amp. Belastung die Stromdichte zu 46000 Amp/qcm und der Druck der magnetischen Kneifwirkung zu 0,662 g/qcm. Wir sehen, daß trotz der außerordentlich hohen Stromdichte die mechanische Wirkung der magnetischen Kräfte sehr klein ist. Recht wahrscheinlich ist es aber, daß mit der Zeit auch solch geringe Kräfte an dem weicherhitzten Wolframfaden sehr deutliche Wirkungen hervorbringen können. Bei Wechselstrom wirken auf den Leuchtfaden die elektromagnetischen Kräfte nicht kontinuierlich wie beim Gleichstrom, sondern entsprechend den einzelnen Phasen intermittierend und gleichen in ihrer Wirkung plötzlich auftretenden Schlägen, die intensiver wirken als eine ununterbrochene Kraft und viel leichter noch die Strukturveränderung des Leuchtdrahtes bewirken können.

Der Einfluß des Wechselstromes auf die Strukturveränderung der Wolframdrähte wurde schon frühzeitig erkannt und es wurden Vorschläge gemacht, wie man diese Wirkungen verhindern könnte. Besonders aktuell wurden solche Vorschläge nach der Einführung des gezogenen Wolframdrahtes, welcher gegen Wechselstrom noch viel empfindlicher war als der gespritzte Wolframfaden. Die Westinghouse Metallfaden-Glühlampenfabrik hat in ihren Patenten (engl. Pat. 24179 [1906]; österr. Pat. 41247) ein Mittel angegeben, mit welchem sich der Wechselstromeffekt der Leuchtkörper gut verhindern läßt. Die Firma fand, daß durch Zusatz von Erdmetalloxyden, insbesondere Thoriumdioxyd zur Wolframpaste, man aus dieser Wolframdrähte erhält, welche beim Betrieb mit Wechselstrom die unangenehme Kristallisationserscheinung, die bei gewöhnlichen Wolframleuchtkörpern so leicht eintritt, nicht mehr zeigen. Fig. 70 zeigt einen Wolframdraht mit einem Zusatz von Erdmetalloxyden, welcher trotz 1000 stündigen Brennens mit Wechselstrom keine besonderen Kristalli-

sationserscheinungen und Verschiebungen aufweist. Selbstverständlich ist der Zusatz von Erdmetalloxyden auch bei gezogenen Wolframdrähten in der gleichen Weise wirksam wie bei den nach dem Spritzverfahren gewonnenen Drähten. In diesem Falle ist ein solcher Zusatz nur noch viel erwünschter, weil, wie früher erwähnt, die gezogenen Wolframdrähte noch mehr als die nach dem Spritzverfahren gewonnenen zur Kristallisation im Wechselstrom neigen. Fig. 71 zeigt einen gezogenen Wolframdraht mit einem Zusatz von Erdmetalloxyd vor dem Brennen und nach einer langdauernden Benutzung im Wechselstrom. Es mutet einem sonderbar an, wenn die A. E. G. in einer österr. Patentanmeldung (A. 6966—11 vom 14. August 1911) daraus einen Sonderfall zu konstruieren versucht

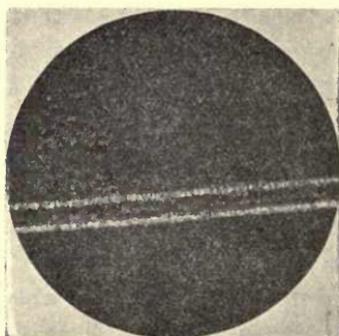


Fig. 70.

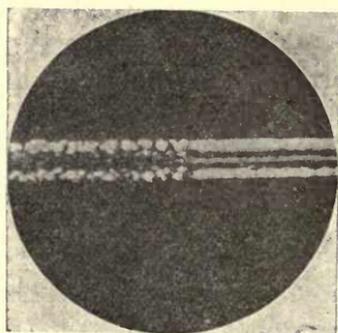


Fig. 71.

und Patentschutz für den Zusatz von den gleichen Erdmetalloxyden zum Wolframdraht zwecks Verhinderung des Wechselstromeffekts zu erlangen sucht. Auch das belgische Patent von O. Krause (236889 [1910]), nach welchem durch Zusatz von  $CaO$  die Kristallisationserscheinung der Wolframdrähte beim Brennen auf Wechselstrom und insbesondere der Zerfall des Drahtes in einzelne Längsfasern vermieden werden soll, stellt nach dem Gesagten kaum mehr eine wesentliche Neuerung vor. Hat doch der Direktor der Auer-Gesellschaft, Herr Remane selbst, in einem Vortrag behauptet, daß die günstige Wirkung des Zusatzes von Erdmetalloxyden zu den nach dem Spritzverfahren gewonnenen Wolframdrähten als wesentlich zu betrachten sei mit derselben Wirkung bei den gezogenen Drähten („Die Welt der Technik“, Nr. 7, Jahrgang 1913, S. 131). Andere Zusätze, welche angeblich den Wechselstromeffekt der Wolframdrähte verhindern sollen, werden von Karl Schwab in einem Patent vorgeschlagen (D. R. P. 261 130 vom 10. April 1910).

Es wird hier der Zusatz von sehr geringen Mengen — etwa  $\frac{1}{50}$  % von Metalloiden, vorzugsweise Phosphor, empfohlen.

Beim Brennen auf Wechselstrom scheint auch die Form der elektrischen Wellen des Wechselstromes von großer Bedeutung für die Lebensdauer der Wolframlampen zu sein. Die gebräuchlichen Wechselstrommaschinen erzeugen eine Spannungskurve von annähernd Sinusform, wobei die Maximalspannung gleich ist der durch das Voltmeter angezeigten effektiven Voltzahl, multipliziert mit der Quadratwurzel von 2. — Oft kommt es aber vor, daß die in die Lampen gelangenden Wechselstromwellen, durch die etwa in dem Lampenstromkreis befindlichen Transformatoren, Motoren, Drosselspulen usw. eine von der Sinusform wesentlich verschiedene Wellenform besitzen. Solche ver-

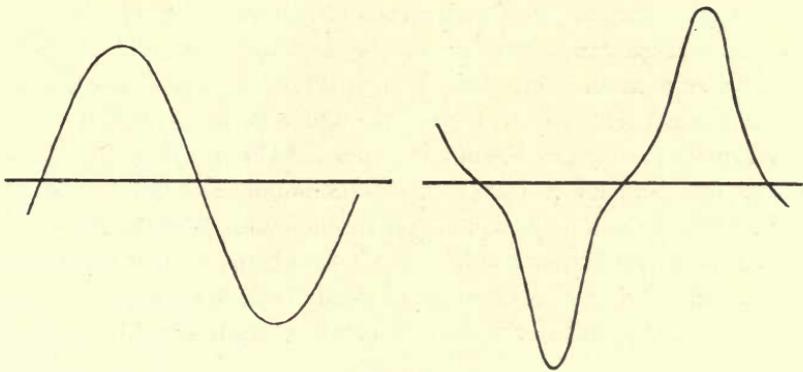


Fig. 72.

änderten Wellen zeigen gewöhnlich einen steilen, spitzen Anstieg mit einem Maximalwert, der bedeutend größer ist als die durch das Voltmeter angezeigte effektive Voltzahl  $\times \sqrt{2}$ . Fig. 72 zeigt z. B. zwei solche verschiedenen Wellenformen von gleicher effektiver Voltzahl (110 Volt) und wesentlich verschiedenen Maximalwerten (155 Volt bzw. 174 Volt). Untersuchungen, welche von Charles Lambert Kinsloe ausgeführt wurden („Pennsylvania State College Bulletin“, 1. Juni 1910) haben bewiesen, daß Wolframlampen, welche mit Wechselstrom von spitzer Wellenform betrieben werden, sich wesentlich ungünstiger verhalten als Lampen, welche mit einem Wechselstrom von gewöhnlicher Sinusform gespeist werden, trotz gleicher effektiver Voltzahl der beiden verwendeten Stromarten. Die Ursachen dieser Erscheinung dürften wohl recht verschiedene sein. Vor allem ist es anzunehmen, daß, den wellenförmigen Spannungsschwankungen entsprechend, auch die Belastung und Kerzenstärke der mit Wechselstrom gespeisten Lampen wellenförmig nachfolgt. Es gibt somit Zeitpunkte, bei welchen der Leuchtkörper sehr wesent-

lich höher belastet wird, als es der effektiven Voltzahl entsprechen würde, und Momente, in denen wieder der Leuchtkörper unterhalb seiner normalen Belastung brennt. Da aber die Lebensdauer der Lampen mit steigender Belastung rapid abnimmt, ist es zu erwarten, daß die Materialverschlechterung des Leuchtkörpers, welche durch die hohe Belastung des Maximums verursacht wird, kaum ausgeglichen wird durch den geringeren Betrag der Materialverschlechterung beim Minimum. Durch einfache Berechnung läßt sich auch ermitteln, daß ohne Rücksicht auf den wirklichen Effektverbrauch die mittlere Kerzenstärke, somit auch die Belastung größer sein muß bei sinusoidal, als bei kontinuierlicher Spannung und aus gleichem Grund bei spitzer Wellenform größer als bei flacher. Schließlich ist auch zu erwarten, daß aus rein mechanischen Gründen die intermittierende Belastung des Leuchtkörpers für dessen Lebensdauer schädlich sein muß. Eine sehr wesentliche Rolle spielt auch bei den besprochenen Verhältnissen die Frequenz des Wechselstromes. Infolge der Wärmekapazität des Fadens nehmen die Unterschiede der Kerzenstärken des Fadens zwischen dem Maximum und Minimum einer Periode mit steigender Frequenz wesentlich ab. Wechselströme von hoher Frequenz dürften somit für die Lebensdauer der Glühlampen weniger schädlich sein als solche mit niedriger Frequenz.

Gleichzeitig mit der Materialverschlechterung des Leuchtkörpers während der Brennzeit geht auch das Zerstäuben des Leuchtkörpers vor sich. Der feine Metallstaub fliegt gegen die Glaswände und verursacht die Schwärzung derselben, durch welche die Lichtausstrahlung im Laufe der Zeit immer stärker beeinträchtigt wird. Versuche haben erwiesen, daß die Verminderung der Kerzenzahl ausschließlich auf die lichtabsorbierende Wirkung des Beschlages zurückzuführen sei, da die Lampen, welche nach längerem Brennen fast 30 % ihrer ursprünglichen Kerzenzahl einbüßten, nach dem Austausch der geschwärzten Glocke durch eine neue klare Glasglocke ihre ursprünglichen Kerzenzahlen aufwiesen. Hauptsächlich von der Größe der Zerstäubung der Leuchtkörper hängt die sogen. Nutzbrenndauer der Lampen ab, d. i. diejenige Zahl von Stunden, nach welcher die Lampe 20 % ihrer ursprünglichen Kerzenzahl eingebüßt hat. Der Vorgang der Zerstäubung des Leuchtkörpers wird durch eine große Zahl von Faktoren bedingt, so der Reinheit und Güte des Materials, aus dem der Leuchtkörper besteht, Beschaffenheit des Vakuums, Belastung sowie der ganzen Lebensgeschichte der Lampe überhaupt. Die letztere spielt insofern eine große Rolle, als eben im Laufe der Zeit mit der fortschreitenden Zerstäubung immer

ungünstigere Verhältnisse bezüglich der Belastung des Fadens und Vakuums in der Lampe eintreten, wodurch die Lampe mit wachsender Geschwindigkeit ihrem Ende entgegengeführt wird. Das Wesen der Zerstäubung und deren Ursachen sollen in dem nächstfolgenden Abschnitt eingehender behandelt werden.

### Das Glühlampenvakuum.

Von außerordentlich großer Wichtigkeit für die Ökonomie und Güte der Glühlampen ist die Beschaffenheit des in den Glühlampen vorhandenen Vakuums. Wohl könnte man den Leuchtkörper in einer Atmosphäre von indifferenten Gasen, welche das Wolfram auch bei der höchsten Glut nicht angreifen, brennen lassen; eine solche Anordnung wäre aber für die Ökonomie der Glühlampen sehr unvorteilhaft. Die Gase würden durch Wärmekonvektion den Leuchtkörper stark abkühlen, und man müßte diesem viel mehr Energie zuführen, als es beim Brennen im Vakuum erforderlich wäre, um ihn auf gleiche Glut zu bringen. Um diesen Energieverlust zu vermeiden, werden die Glühlampen vermittelst Quecksilberpumpen möglichst vollständig entlüftet. Wir wissen, daß mit den bekannten Hilfsmitteln sich niemals ein absolutes Vakuum erzielen läßt. In der Praxis muß man sich damit begnügen, in den Glühlampen eine äußerst verdünnte Gasatmosphäre zurückzulassen, deren Druck ungefähr 1 bis 5 Millionstel Atmosphäre beträgt. Die Wärmekonvektion, die durch eine solche hochverdünnte Gasatmosphäre verursacht wird, kommt praktisch fast gar nicht mehr in Betracht. Es machen sich aber auch andere Erscheinungen beim Brennen der Glühlampen geltend, als deren Ursache die Beschaffenheit, d. i. die Zusammensetzung und Druck der in den Glühlampen enthaltenen hochverdünnten Gasatmosphäre, betrachtet werden muß. So macht man oft die Beobachtung, daß Glühlampen mit ganz demselben Leuchtkörper sich bei gleicher Belastung beim Brennen verschieden verhalten. Während manche auch nach langer Brenndauer fast konstantes Leuchtvermögen und klare Glocke bewahren, zeigen andere starkes Zerstäuben des Leuchtkörpers, Schwärzung der Glocke und damit parallel verlaufende starke Lichtabnahme und kurze Lebensdauer. Oft kommen auch Lichtbogenentladungen in der Lampe vor, die zur vollständigen Zerstörung derselben führen. Wohl ist in vielen Fällen an solchen unangenehmen Erscheinungen die Beschaffenheit des Leuchtkörpers selbst schuld, es ist aber erwiesen, daß in sehr vielen Fällen ähnliches auch die Glühlampengase verursachen. Wir wollen deshalb unsere Aufmerksamkeit diesem Gegenstande zuwenden und

untersuchen, welche physikalischen und chemischen Ursachen diese Erscheinungen bewirken. Gleichzeitig wollen wir auch die Mittel erwähnen, deren sich die Technik bedient, um die schädliche Wirkung der Glühlampen-Gasatmosphäre zu beseitigen. Wir haben bei der Besprechung des Entlüftens der Lampen darauf hingewiesen, welch großes Gewicht auf die vollständige Entlüftung der Lampen gelegt wird und welche Vorkehrungen getroffen werden, damit an den Glaswänden der Glocke sowie in den Halterdrähten nicht noch recht beträchtliche Gasmengen zurückbleiben, welche sich dann beim Brennen der Lampen geltend machen. Wir wollen nun untersuchen, welche Vorgänge sich bei den in einer brennenden Lampe vorliegenden Verhältnissen abspielen. Wir haben vor allem in einer brennenden Lampe einen hoch erhitzten Körper und einen stark

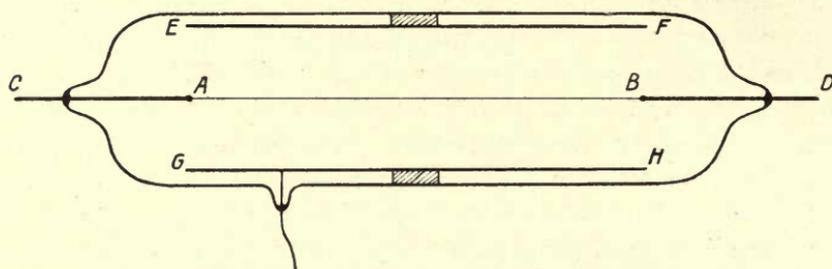


Fig. 73.

verdünnten Gasraum. Es liegen bereits viele Untersuchungen vor, welche sich mit den Erscheinungen beschäftigen, die in einem verdünnten Gasraum in Gegenwart glühender Körper eintreten. Die beobachteten Erscheinungen sind vor allem rein elektrischer Natur. Man kann dieselben am besten in Apparaten studieren, wie in Fig. 73 abgebildet. In einem zylindrischen Glasgefäß befindet sich axial gelagert ein schwer schmelzbarer Draht *AB*, dem durch *D* und *C* der elektrische Strom zugeführt wird, durch welchen der Draht auf beliebige Temperatur erhitzt werden kann. Um den Draht herum und von diesem isoliert befindet sich ein Metallzylinder, dessen Querschnitt in den Linien *GH* und *EF* wiedergegeben ist. Das Gefäß wurde bei den Versuchen weitgehend evakuiert, wobei auch durch Erhitzen des Drahtes mittelst des elektrischen Stromes als auch des Glasgefäßes mit dem Metallzylinder in einem passenden Ofen möglichst alle absorbierten Gase aus diesem entfernt wurden. Durch diese Vorsichtsmaßregel machte man sich, so weit es möglich war, unabhängig von dem Einfluß der Gase auf die zu studierenden Erscheinungen. Der Draht wurde nun durch eine elektrische Batterie

auf Glut gebracht und gleichzeitig der Metallzylinder über ein empfindliches Galvanometer an einen Pol der Batterie gelegt. War nun der Zylinder mit dem positiven Pol so verbunden, daß der Draht dem Metallzylinder gegenüber negativ geladen war, so beobachtete man, daß ein beträchtlicher Strom durch das Galvanometer fließt. Vertauscht man die Pole, so daß der glühende Draht dem Metallzylinder gegenüber positiv geladen war, so kann man fast gar keinen Stromdurchgang mit dem Galvanometer nachweisen. Wir sehen demnach, daß durch den hochevakuierten Raum ein elektrischer Strom hindurchgeht, wenn negative Elektrizität vom glühenden Draht zum kalten Zylinder gehen kann, daß aber kein merklicher Strom den Gasraum passieren kann, wenn der glühende Draht dem Zylinder gegenüber positiv geladen ist, also positive Elektrizität von dem Draht zum Zylinder fließen sollte. Wir werden später sehen, daß auch der letztgenannte Elektrizitätsdurchgang stattfindet, daß er aber von ganz anderer Größenordnung ist als der negative Elektrizitäts-transport und nur mit den empfindlichsten Instrumenten nachgewiesen werden kann.

Wir wollen nun das Wesen beider Erscheinungen näher betrachten. Der Transport negativer Elektrizität im Vakuum von dem glühenden Draht zum kalten Metallzylinder, besser Nebenelektrode genannt, ist vor allem von zwei Faktoren abhängig; erstens von der Potentialdifferenz des Drahtes zur Nebenelektrode, zweitens von der Temperatur des glühenden Drahtes. Der Stromdurchgang befolgt nicht das Ohmsche Gesetz, ist also nicht der Potentialdifferenz proportional. Er wächst zunächst mit steigender Potentialdifferenz, erreicht aber bald seinen Höchstwert, den sogen. Sättigungswert, welcher durch weitere Potentialsteigerung nicht mehr vergrößert werden kann. Die zur Erreichung des Sättigungsstromes erforderliche Potentialdifferenz beträgt im allgemeinen nur wenige Volt, nach den Messungen von J. J. Thomson genügten 10 Volt, um Sättigungsstrom zu erzeugen. Beobachtet man nur die Größe des Sättigungsstromes, so macht man sich im gewissen Sinne von dem einen Faktor, der Potentialdifferenz, unabhängig und kann somit die Abhängigkeit des Elektrizitätsdurchganges von dem zweiten Faktor, der Temperatur des Drahtes, studieren. Solche Versuche hat z. B. O. W. Richardson gemacht („Proc. Camb. Phil. Soc.“, Bd. 11, S. 286 [1902]). Er beobachtete den Sättigungsstrom, welcher sich zwischen verschieden hoch erhitztem Platindraht und einer kalten Nebenelektrode in einem hohen Vakuum einstellt. Die dabei gefundenen Beziehungen zwischen dem Sättigungsstrom und der Temperatur des

Drahtes sind in der Fig. 74 wiedergegeben. Wir sehen daraus, daß der Strom mit steigender Temperatur des Drahtes außerordentlich rasch anwächst. Bei der Temperatur von  $1500^{\circ}\text{C}$  fand Richardson eine Emission von negativer Elektrizität von etwa 1 Milliamp. pro Quadratcentimeter Oberfläche des glühenden Drahtes. Durch Extrapolation findet man, daß bei  $2000^{\circ}\text{C}$  der glühende Draht einen Strom von  $\frac{1}{10}$  Amp. negativer Elektrizität pro Quadratcentimeter Oberfläche emittieren würde. Bei einem Kohlefaden, welcher auf

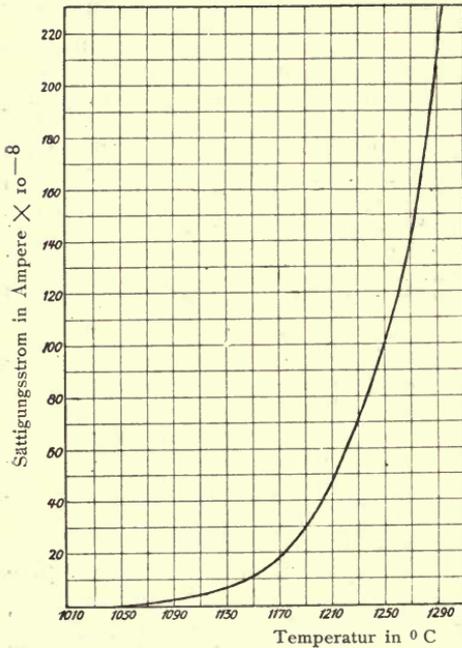


Fig. 74. Sättigungsstromdiagramm.

eine viel höhere Temperatur gebracht werden kann als das Platin, erhielt Richardson einen Strom von etwa 1 Amp.

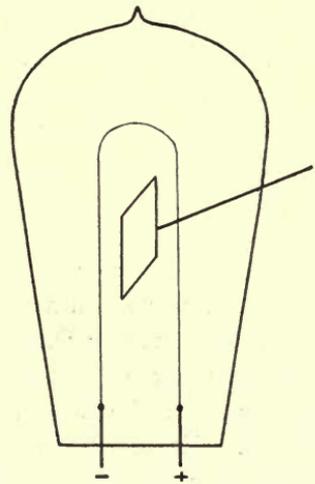


Fig. 75.

pro Quadratcentimeter des glühenden Fadens. Natürlich ist es beim Wolfram, welches auch auf sehr hohe Glut gebracht werden kann, zu erwarten, daß die Emission von negativer Elektrizität im Vakuum bei diesem unter Umständen auch einen außerordentlich hohen Betrag annehmen kann.

In der Technik war die Erscheinung der Emission von negativer Elektrizität durch glühende Kohlefäden seit langem bekannt. Sie wurden von Preece („Proc. Roy. Soc.“, Bd. 38, S. 219 [1886]) und Fleming („Proc. Roy. Soc.“, Bd. 47, S. 118 [1890]; „Phil. Mag.“, Bd. 42, S. 52 [1896]) eingehend studiert. Verbindet man in einem Apparat, welcher in Fig. 75 abgebildet ist und eine hochevakuierte Kohlenfadenlampe mit einer Nebenelektrode darstellt, den an den positiven Pol angeschlossenen Schenkel des glühenden Kohlenfadens

über ein Galvanometer mit der Nebenelektrode, so beobachtet man einen starken Stromdurchgang. Die Richtung des Stromes entspricht einer Emission negativer Elektrizität von dem glühenden Kohlenfaden durch das Vakuum hindurch zur kalten Nebenelektrode. Diese Erscheinung wurde Edison-Effekt genannt. Wird die Nebenelektrode mit dem negativen Schenkel des Kohlenbügels verbunden, so kann nur ein viel kleinerer Stromdurchgang beobachtet werden, was wohl dadurch leicht begreiflich erscheint, daß in einem solchen Fall die Nebenelektrode gegenüber dem Kohlenfaden negativ geladen erscheint, durch welche Potentialdifferenz ein Transport negativer Elektrizität von dem Glühfaden zur Nebenelektrode sehr erschwert wird.

Nun müssen wir nach dem Wesen und Ursachen des seltsamen Elektrizitätstransportes durch das hohe Vakuum suchen. Aus den Erfahrungen auf dem Gebiete der Elektrolyse und des Elektrizitätstransportes in ionisierten Gasen wäre man anfangs geneigt, anzunehmen, daß es auch in unserem Falle sich um einen Transport negativer Elektrizität durch negativ geladene materielle Teilchen, welche von dem glühenden Faden weggeschleudert werden, handelt. Da wir gleichzeitig die Zerstäubung des glühenden Fadens, welche sich durch die Schwärzung der Glocke bemerkbar macht, beobachten, so könnte man im ersten Augenblick geneigt sein, anzunehmen, daß es diese zerstäubten Partikelchen waren, welche den als Edison-Effekt beobachteten Elektrizitätstransport besorgt haben. Bei näherer Überlegung wird jedoch eine solche Annahme bald hinfällig. Die große Menge der beim Edison-Effekt transportierten Elektrizität steht in gar keinem Verhältnis zu der ganz geringen Menge des zerstäubten Fadenmaterials und läßt sich mit den Gesetzen der Elektrolyse, nach welchen dann eine unverhältnismäßig größere Zerstäubung zu erwarten wäre, nicht in Einklang bringen. Wir müssen somit einen materielosen Elektrizitätstransport annehmen, wie wir solchen in den Kathodenstrahlen kennen. Die Annahme, daß beim Edison-Effekt genau so wie bei den Kathodenstrahlen die Elektrizitätsträger die sogen. Elektronen sind, die materielosen Elementarquanten der Elektrizität konnte auch durch die elektromagnetischen und elektrostatischen Messungen, durch die Bestimmung der spezifischen Ladung  $e/m$  ( $e$  = Ladung,  $m$  = scheinbare Masse) als richtig bewiesen werden. Somit sind wir beim Studium des Edison-Effektes schließlich zu dem Resultat gelangt, daß glühende Körper im hohen Vakuum große Mengen von Elektronen aussenden. Diese Tatsache ist für die Glühlampentechnik von großer Bedeutung, da die nachgewiesene Elektronenemission glühender Körper im Vakuum

auch bei den Glühlampen in mancher Hinsicht zur Geltung gelangen kann. Die einzelnen Drahtschleifen in der Glühlampe besitzen ein verschieden hohes elektrisches Potential. Dadurch, sowie infolge der besprochenen Elektronenemission müssen zwischen den einzelnen Schleifen des Leuchtkörpers in der Glühlampe selbst Gasströme resultieren, deren Art und Größe einen hohen Einfluß auf das Verhalten der Glühlampen selbst haben muß. So wird den Gas- oder Vakuumströmen in der Glühlampe ein gewisser Einfluß auf die Zerstäubung des Leuchtkörpers zugeschrieben, sowie vor allem die insbesondere bei den hochvoltigen Glühlampen sich sehr oft unangenehm bemerkbar machende Erscheinung des Vakuumkurzschlusses, welche fast in allen Fällen zur Zerstörung der Lampe führt.

Es wurden deshalb in der Praxis alle Maßregeln getroffen, von denen man eine Verminderung der Vakuumströme sich erhoffen könnte. Nach der Beobachtung von H. A. Wilson und anderer wird die Emission der Elektronen von glühenden Drähten im Vakuum in hohem Maße von der Gegenwart von Spuren von Gasen, insbesondere Wasserstoff, beeinflußt, und zwar durch solche außerordentlich gesteigert. In der Praxis wurde diesen Beobachtungen darin Rechnung getragen, daß sehr große Sorgfalt auf vollständige Entlüftung der Glühlampen gelegt wurde. In dem Abschnitt über das Entlüften der Lampen werden alle dafür getroffenen Maßregeln ausführlich beschrieben. Der Einfluß der Gasreste auf die Elektronenemission der glühenden Drähte kann damit erklärt werden, daß die im Vakuum vorhandenen ionisierten Gasatome, die Gasionen, auf rein dynamische Weise durch Auffliegen gegen die erhitzte Oberfläche des erhitzten Drahtes diesen zu reichlicher Elektronenemission veranlassen (Stoßionisation), oder daß auf rein chemischem Wege infolge vorübergehender Bildung chemischer Verbindungen zwischen dem Drahtmaterial und den Gasen eine gesteigerte Emission der Elektronen eintritt. Zu der letzteren Annahme könnte man vielleicht durch das Ergebnis der höchst interessanten Untersuchungen von Haber und Just (Über die Aussendung von Elektronenstrahlen bei chemischen Reaktionen, „Ann. d. Phys.“, Bd. 36, S. 308 [1911]) geführt werden. Haber und Just haben aber nur bei stark exothermen Reaktionen eine merkliche Elektronenemission nachweisen können, während solche Reaktionen zwischen den Gasresten, insbesondere dem die stärkste Elektronenemission verursachenden Wasserstoff und dem glühenden Metall nicht zu erwarten wären. Die Stoßionisation wäre somit als die einzige Ursache der vergrößerten Elektronenemission der glühenden Drähte im Vakuum

infolge der Anwesenheit der Gasspuren zu betrachten. Die ionisierten Gasteilchen erhalten in dem relativ hohen elektrostatischen Felde eine beträchtliche Beschleunigung und fliegen mit großer Geschwindigkeit auf die glühende Drahtoberfläche zu. Je kleiner das auffliegende Gasteilchen ist bei gleicher kinetischer Energie, um so intensivere lokale Wirkung wird auf die Metallatome der glühenden Drahtoberfläche ausgeübt und um so größere Elektronenemission durch dasselbe verursacht. Dadurch wäre vielleicht die große Wirksamkeit des Wasserstoffes, welcher die kleinsten Atome besitzt, zu erklären. Gase, wie Fluor, Chlor, Brom, Jod, welche starke Verwandtschaft zu den elektronegativen Elektronen besitzen, haben die Eigenschaft, Elektronen zu absorbieren und dadurch den Elektrizitätstransport im Vakuum stark herabzusetzen. Dies hat zuerst Mathies nachgewiesen. Es wurden deshalb Gase stark elektronegativen Charakters als Lampenfüllungen zur Vermeidung übermäßig hoher Vakuumströme vorgeschlagen. Wir werden bei der Besprechung der sogen. Füllungslampen Gelegenheit haben, auch auf andere günstige Wirkungen der Halogene in den Glühlampen hinzuweisen. Es sind aber auch andere Ursachen bekannt, welche die Elektronenemission der glühenden Drähte im Vakuum stark beeinflussen können. Nach den Untersuchungen von A. Wehnelt („Drudes Ann.“, Bd. 14, S. 425 [1904]) wird in den Entladungsröhren der Kathodenfall der ins Glühen gebrachten Elektroden außerordentlich viel geringer, wenn dieselben mit Oxyden der Erdmetalle, wie  $CaO$ ,  $BaO$  usw. bedeckt sind. Durch genaue Untersuchungen wurde gezeigt, daß diese Oxyde bei hohen Temperaturen außerordentlich viel mehr Elektronen aussenden als die glühenden Metalle. Diese Tatsache ist von großer Wichtigkeit für die Glühlampentechnik, da es oft vorkommt, daß aus verschiedenen Gründen ein Zusatz von solchen Oxyden zu dem Leuchtkörper vorgeschlagen wird. Wir sehen, welche Gefahren ein solcher Zusatz von Oxyden zu dem Leuchtkörper mit sich bringt. Die Elektronenemission kann in solchen Lampen sehr leicht den hohen Intensitätsgrad erreichen, welcher zur Lichtbogenentladung im Vakuum, dem Vakuumkurzschluß, führt. Tatsächlich wurden in der Praxis solche Erscheinungen bei Verwendung von Leuchtkörpern mit Oxydzusätzen oft beobachtet, und die Herstellung von Glühlampen für hohe Spannung mit solchen Leuchtkörpern bereitet aus diesem Grunde große Schwierigkeiten.

Außer der soeben beschriebenen Emission von Elektronen kann man bei glühenden Metallen auch die Aussendung elektrisch positiv geladener Träger feststellen. Wir haben gesehen, daß nur, wenn das

glühende Metall gegenüber der kalten Nebenelektrode negativ geladen ist, sich ein beträchtlicher Stromdurchgang durch das Vakuum nachweisen läßt. Ist aber der glühende Draht gegenüber der Nebenelektrode positiv geladen, so läßt sich kein merklicher Stromdurchgang nachweisen. Vergrößert man nun die positive Ladung des glühenden Drahtes und untersucht das System auf Stromdurchgang mit einem empfindlichen Elektrometer, so kann man auch einen Stromdurchgang konstatieren, der einer Wanderung elektrisch positiv geladener Teilchen aus dem glühenden Draht zur Nebenelektrode entspricht. Die Richtung des Stromes ist somit entgegengesetzt der Stromrichtung des Edison-Effektes, und die Erscheinung wird deshalb „positiver Effekt“ genannt. Während nun beim Edison-Effekt nachgewiesen werden konnte, daß die Elektrizitätsträger materielle Teilchen sind, fand man beim positiven Effekt durch Bestimmung des Verhältnisses  $e/m$  (Ladung zur Masse des Trägers), daß die Träger der positiven Elektrizität vom glühenden Draht zur Nebenelektrode positiv geladene Teilchen sind, deren Masse ungefähr der Größenordnung der Gasmoleküle entspricht, ja in manchen Fällen konnte man sogar feststellen, daß die Ladungen von einer viel größeren Masse mitgeführt werden, als es den Molekülen der Gase oder auch der Metalle, wie z. B. Platin entsprechen würde, womit als Träger der positiven Ladung positiv geladener, sehr feiner Metallstaub anzusehen wäre. Diese Tatsachen ließen die Vermutung zu, daß der positive Effekt in direktem Verhältnis zur Zerstäubung glühender Körper steht, weshalb die genaue Erforschung des Wesens des positiven Effektes sehr wünschenswert erschien. Viele Forscher, wie Berliner („Wied. Ann.“, Bd. 33, S. 289 [1888]; Bd. 35, S. 791 [1888]), Elster und Geitel („Wied. Ann.“, Bd. 31, S. 109 [1887]), Stewart („Phil. Mag.“, Bd. 48, S. 481 [1889]) u. a. haben diese Erscheinung studiert. Berliner fand, daß das vom Draht absorbierte Gas bei der Erhitzung des Drahtes von diesem allmählich abgegeben wird und eine wichtige Rolle bei der Elektrizitätsentladung des Drahtes spielt. Es ist sehr wahrscheinlich, daß das Gas in Form von Ionen den glühenden Draht verläßt, von denen die positiv geladenen die Erscheinung des positiven Effektes hervorrufen. Die Tatsache, daß der positive Effekt, wenigstens zum großen Teil, auf das Entweichen der absorbierten Gase aus dem glühenden Draht zurückzuführen sei, scheint ziemlich sicherzustehen und konnte durch die neuesten Untersuchungen, welche von Z. Klemensiewicz („Ann. d. Phys.“, Bd. 36, S. 796 ff. [1911]) ausgeführt wurden, bestätigt werden. Der positive Effekt zeigt nämlich die charakteristische Eigenschaft, daß er am

Anfang groß, im Laufe der Zeit aber, während der Draht im Vakuum erhitzt wird, immer kleiner wird und schließlich verschwindend kleine Werte annimmt. Führt man nun nach einem solchen Abfall des positiven Effektes frisches Gas in das Gefäß ein, in welchem sich der heiße Draht befindet, so beobachtet man, daß nach neuerlichem Auspumpen des Gefäßes die Entladung der positiven Elektrizität von dem heißen Draht sehr stark zugenommen hat und beim fortgesetzten Erhitzen sich wieder verringert. Klemensiewicz behandelte Drähte, welche durch sehr langes Erhitzen im Vakuum fast keinen positiven Effekt mehr zeigten, bei  $200^{\circ}$  C in verschiedenen Gasen unter einem Druck von mehreren hundert Atmosphären und konnte dabei nachweisen, daß solche Drähte, im Vakuum erhitzt, wieder fast ihren vollen ursprünglichen positiven Effekt zeigen. Das allmähliche Entweichen der Gase, welches somit das Wesen des positiven Effektes zu sein scheint, muß aber auch sicher im direkten Zusammenhang mit dem Zerstäuben glühender Drähte stehen. Schon Edison und de Changy haben bei ihren Untersuchungen über die Platinlampe auf diesen Zusammenhang hingewiesen, und beide Erfinder empfehlen zur Verhinderung der Zerstäubung des Platinleuchtkörpers seine vollständige Entgasung. Alle Metalle besitzen, entsprechend ihrer Darstellung, sehr große Mengen absorbiertes Gas, vor allem Wasserstoff, welche oft das Hundertfache des Volumens des Metalles betragen. Beim Erhitzen der Metalle nimmt deren Löslichkeit für die Gase stark ab, während gleichzeitig der Gasdruck in den Metallen enorm hohe Werte annimmt. Das Ausstoßen der Gasmoleküle aus dem glühenden Draht vollzieht sich nun mit großer Heftigkeit, wobei sehr leicht auch feine Metallpartikelchen in Form des Staubes mitgerissen werden können. Dies wäre somit der primäre Vorgang der Zerstäubung. Glühlampen, welche starken positiven Effekt zeigen, deren Leuchtkörper also nicht vollständig entgast wurden, müssen danach auch eine starke Zerstäubung des Leuchtkörpers selbst aufweisen. Die Zerstäubung wäre vor allem auf die primäre Ursache, das Entweichen der absorbierten Gase, zurückzuführen. In weiterer Linie wird aber auch das Vakuum durch solchen Vorgang wesentlich verschlechtert; es tritt eine verstärkte Elektronenemission des glühenden Drahtes ein, welche auch ihrerseits eine weitgehende Zerstäubung des Drahtes bewirken kann. Wir sehen somit, von welcher großer Wichtigkeit für das Verhalten der Lampen eine gründliche Entgasung der Leuchtkörper ist. Die Abhängigkeit der Zerstäubung und des positiven Effektes von der Natur des im Vakuum vorhandenen Gases wurde auch untersucht,

und Berliner fand z. B., daß die Zerstäubung des Platins durch die geringsten Spuren von Sauerstoff stark beschleunigt wird. Diese Erscheinung wird auf eine chemische Reaktion, eine langsame Oxydation des Platins zurückgeführt. Durch viele Forscher wurde nachgewiesen, daß solche chemische Wirkungen einen großen Einfluß auf die Entstehung des positiven Effektes und der damit parallel verlaufenden Zerstäubung besitzen. Hingegen haben die in der neuesten Zeit von Klemensiewicz angeführten Versuche deutlich erwiesen, daß dies nicht als allgemeine Regel zu betrachten sei. Die sehr sinnreichen Versuche, durch welche es Klemensiewicz gelungen ist, dieses zu beweisen, wurden in folgender Weise ausgeführt: Palladium oder Iridium besitzt die Eigenschaft, bei bestimmten Temperaturen sich mit Sauerstoff unter Bildung von entsprechenden Oxyden zu verbinden. Die Oxyde sind aber recht unbeständig und zerfallen, wenn der Sauerstoffdruck der umgebenden Atmosphäre eine gewisse Grenze unterschreitet, wieder in Metall und Sauerstoff. Auf diese Weise kann man an glühenden Drähten aus diesen Metallen durch einfache Veränderung des Sauerstoffdruckes die chemischen Reaktionen beliebig in der einen oder anderen Richtung verlaufen lassen. Bei diesen Versuchen zeigte es sich auffallenderweise, daß trotz der an den glühenden Drähten vor sich gehenden intensiven chemischen Reaktion kein wesentlicher positiver Effekt nachzuweisen war. Es würde sich sicher verlohnen, diesen Ergebnissen, welche allen bisherigen Erfahrungen zu widersprechen scheinen, etwas näherzutreten. Wir sehen, daß alle bisher angeführten Untersuchungen über den positiven Effekt kein vollständig klares Bild über das Wesen dieser Erscheinung zu geben vermögen. Die bisher erzielten Ergebnisse auf die Verhältnisse der glühenden Wolframdrähte in den Glühlampen direkt übertragen zu wollen, wäre vor allem schon aus dem Grunde als sehr gewagt zu bezeichnen, da all die besprochenen Versuche bei Temperaturen ausgeführt wurden, welche viel tiefer waren, als die Temperatur des mit 1 Watt/HK. Belastung brennenden Wolframleuchtkörpers ist. Da es aber fast als erwiesen zu betrachten ist, daß der positive Effekt direkt mit der Zerstäubung des Leuchtkörpers zusammenhängt, wäre eine dahingehende Untersuchung bei gleichen Verhältnissen, wie solche in der Glühlampe vorhanden sind, als außerordentlich wünschenswert zu bezeichnen. Wir wollen nun zu einigen praktischen Versuchen übergehen, welche auf den vorhin beschriebenen theoretischen Untersuchungen über die gaselektrischen Erscheinungen im Glühlampenvakuum fußend, uns zu technischen Erfolgen geführt haben.

## Die Füllungslampen.

Die Untersuchungen über den Einfluß der Gase auf die Zerstäubung glühenden Platins haben gezeigt, daß die Anwesenheit von Sauerstoff die Zerstäubung sehr stark befördert. Die Zerstäubung wird hingegen außerordentlich gering in Wasserstoff und Stickstoff (J. J. Thomson, „Elektrizitätsdurchgang durch Gase“, S. 179, 1906). Es wurde deshalb vorgeschlagen, in den Glühlampen durch Einführung gewisser Substanzen eine verdünnte Atmosphäre von solchen Gasen zu erzeugen. Die Firma Felten-Guilleaume-Lahmeyerwerke hat ein solches Patent (D. R. P. 235 133 vom 3. Januar 1909) für die Erzeugung einer reinen verdünnten Stickstoffatmosphäre in den Glühlampen zwecks Verhinderung der Zerstäubung erhalten. Zu diesem Zweck verwendet die Firma wasserstofffreie Stickstoffverbindungen, wie Phosphorstickstoff, Magnesiastickstoff oder Lithiumstickstoff oder andere stickstoffhaltige Stoffe, welche, in die Lampe eingeführt, allmählich Stickstoff abspalten. In der Praxis hat sich diese Erfindung nicht bewährt und wird auch kaum ausgeführt. Viel größere Bedeutung scheinen diejenigen Patente erlangt zu haben, nach welchen die Glühlampen mit einer halogenhaltigen Atmosphäre versehen werden.

Der erste, der die günstige Wirkung der Halogengasfüllung auf die Lampen beobachtet hat, war Anton Lederer (Westinghouse) (D. R. P. 182976 vom 15. März 1906). Der Erfinder füllte die Glühlampen nach dem Entlüften mit einer hochverdünnten Halogengasatmosphäre (0,1 bis 1 mm *Hg*) oder führte auch Substanzen in die Glühlampen ein, welche Halogene durch Verdampfen oder Zersetzen lieferten. Hierbei beobachtete der Erfinder eine außerordentliche Erhöhung der Lebensdauer solcher Lampen. Lederer hat die Erhöhung der Lebensdauer darauf zurückgeführt, daß er annahm, daß die gebildeten Wolframhalogenverbindungen an heißeren, also dünneren Stellen sich in höherem Maße zersetzten und somit einen Egalisierprozeß bewirkten. Die Erklärung, welche Lederer für die günstige Wirkung der Halogengasfüllung gegeben hat, scheint nicht richtig zu sein. Vielmehr hat Dr. F. Skaupy nachgewiesen (D. R. P. 246820 vom 7. Dezember 1909), daß eine egalisierende Wirkung auf den Leuchtdraht der Halogengasfüllung nicht zukommen kann, im Gegenteil, Lampen mit ungleichförmigen Leuchtkörpern, mit einer Halogengasatmosphäre versehen, schnell zugrunde gehen, da die Halogene gerade die am hellsten leuchtenden, also dünnsten Stellen des Drahtes am schnellsten angreifen und so den Leuchtdraht zerstören. Skaupy bedient sich fester Körper, welche, an passender

Stelle in die Lampe eingeführt, infolge der Wärmewirkung des Leuchtkörpers im Vakuum der Glühlampe allmählich unter Halogenabspaltung zerfallen. Als passende Körper für diesen Zweck nennt der Erfinder vor allem das Thallo-Thallichlorid oder dessen Doppelsalz mit Chlorkalium, Platinchlorür oder Platinchlorid, welches schon beim Pumpen in Platinchlorür zerfällt, Eisenchlorid und schließlich Trikaliumbleihydrofluorid. Die Wahl der halogenabspaltenden Stoffe für die Füllungszwecke wurde derart getroffen, daß alle bei den Verhältnissen, welche in der Glühlampe herrschen, nur eine äußerst hoch verdünnte Halogenatmosphäre in der Glühlampe erzeugen. Der Halogengasdruck in der Glühlampe ist so gering, daß bei der Prüfung der Lampe auf Geislerlichterscheinung eine solche sich kaum anders verhält als eine gewöhnliche, ohne Füllung versehene, gut evakuierte Glühlampe. Der Erfinder gibt auch verschiedene zweckmäßige Anordnungen an zur Unterbringung der halogenabspaltenden Substanzen in der Glühlampe (D. R. P. 248430 vom 24. Juli 1910). Zu diesem Zwecke wird der beim Leuchtkörpertraggestell übliche mittlere Glasstengel an seinem oberen Ende zu einem Rohr ausgebildet, in welches die Substanzen eingeführt werden. Darüber wird eine Schicht Glaswolle gelegt, welche das Herausfallen des Pulvers verhindern soll. Die Stelle für die Unterbringung der Füllsubstanz ist sehr gut gewählt, da der mittlere Glasstengel, von den Leuchtdrähten allseitig umgeben, durch diese relativ hoch erhitzt wird und eben infolge dieser Wärmewirkung ein Zerfall der Füllsubstanz unter Halogenabspaltung stattfinden kann. Diese Wärmewirkung ruft aber gleichzeitig eine andere, nicht sehr erwünschte Erscheinung, und zwar die Verflüchtigung der festen Füllsubstanzen hervor, welche aus dem erhitzten Stengelrohr herausdampfen und sich als trüber Beschlag an der Glockenwand niederschlagen. Um dieses zu vermeiden, schlägt der Erfinder eigens geartete Beschlagfänger vor, welche sich als Fortsetzung an das die Füllsubstanz enthaltende Rohr anschließen (siehe Fig. 39).

Auch andere Verfahren zur Entwicklung kleiner Mengen von Halogenen in den Glühlampen sind seit kurzem bekannt. Siemens & Halske, A.-G. in Berlin (D. R. P. 258558 vom 31. Dezember 1911), verwenden als Ausgangsstoff eine Substanz, welche allein durch die Einwirkung der in der Glühlampe befindlichen Wärme und Lichtquelle nicht zerlegt wird. Diesen Stoff bringt man in Verbindung mit einem anderen von solchen Eigenschaften, daß durch die Wärme und Lichtwirkung eine chemische Reaktion zwischen beiden stattfindet, durch welche der Ausgangsstoff unter Entwicklung von Halogengas zerfällt.

Besonders hat sich z. B. das Bleijodid bewährt, das in Verbindung mit Mangansuperoxyd durch Wärme und Lichtwirkung unter Jodabspaltung zerlegt wird. Gegenüber den Füllsubstanzen von Skaupy soll eine solche Kombination von Füllsubstanzen noch den Vorteil besitzen, daß vor dem Einführen in die Lampe die Stoffe gesondert durch Erhitzen getrocknet werden können, während die Substanzen von Skaupy bei stärkerer Erhitzung behufs Trocknung sich zersetzen würden. Die Firma Siemens & Halske hat auch ein anderes Verfahren zur allmählichen Entwicklung von Halogengasen in den Glühlampen angegeben (D. R. P. 258852 vom 31. Dezember 1911), welches sich in der Glühlampentechnik gut einzuführen scheint. Das Verfahren besteht darin, daß in die Glasglocke eine Silberhalogenverbindung gebracht wird, welche durch Wärme und Lichteinwirkung derart reduziert wird, daß freie Halogengase entwickelt werden. Man kann die Reduktion der Silberhalogenverbindungen noch dadurch erleichtern, daß man sie in der Glühlampe in Verbindung mit Stoffen wie Eisen oder Nickel bringt. Das Eisen oder Nickel wird hierbei zweckmäßig als Träger benutzt, auf welchen sich das Chlorsilber in Form eines kleinen aufgeschmolzenen Netzes befindet. In letzter Zeit wurde auch der Deutschen Gasglühlicht-A.-G. ein Halogenfüllungspatent erteilt (D. R. P. 259118 vom 29. Oktober 1911), nach welchem in die Lampenglocke poröse Substanzen eingeführt werden, welche Halogene oder halogenartige Substanzen gelöst oder absorbiert enthalten und während des Brennens der Lampen die Halogene oder halogenhaltigen Dämpfe in sehr kleinen Mengen kontinuierlich abgeben. Als solche poröse Substanz kann beispielsweise Holzkohle verwendet werden.

Alle diese Halogenfüllungspatente haben in der Glühlampenindustrie große Bedeutung erlangt. Solche Lampen, allgemein Füllungslampen genannt, kommen bereits seit längerer Zeit in den Handel. Dieselben besitzen einen Wattverbrauch von etwa 0,8 Watt/HK. und dabei noch eine größere Nutzbrenndauer als die gewöhnlichen Glühlampen. Vorläufig werden nur Hochkerzenlampen, 100 bis 1000 HK., als Füllungslampen fabriziert. Die bisherigen Produzenten sind die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Siemens & Halske, Philips und die Deutsche Gasglühlicht-A.-G. Die günstige Wirkung der Halogengasfüllung scheint vor allem darauf zurückzuführen zu sein, daß die Halogene die von dem glühenden Leuchtdraht infolge Zerstäubung weggeschleuderten feinen Metallpartikelchen in farblose oder hellgelbe Halogenverbindungen überführen und dadurch die Bildung des schwarzen Beschlages an der

Glasglocke verhindern. Da man nun bei den Füllungslampen die Schwärzung der Glocke nicht zu befürchten hatte, konnte man versuchen, den Leuchtkörper stärker zu belasten und ihn auf den Nutzeffekt von etwa 0,8 Watt/HK. zu bringen. Eine gute Füllungslampe wird während ihrer ganzen Brennzeit niemals schwarz, sondern nur leicht gelb gefärbt. Die Halogenfüllung verhindert nicht die Zerstäubung des Leuchtkörpers, ja man kann sogar behaupten, daß dieser während der Brennzeit sogar etwas stärker angegriffen wird, die eigentliche Wirkung der Füllung ist die Verhinderung des unangenehmen Effektes der Zerstäubung, der Schwärzung der Glasglocke. Vom rein technischen Standpunkt betrachtet, stellt das Patent von Anton Lederer bereits die prinzipielle Lösung des Halogenfüllungsproblems, und es bleibt abzuwarten, ob all die anderen Halogenfüllungspatente nicht als abhängig von dem Patent von A. Lederer erklärt werden.

Die Fabrikation hochvoltiger Halogenfüllungslampen scheint mit großen Schwierigkeiten verbunden zu sein. Die Auer-Gesellschaft fabriziert ihre Halogenfüllungslampen nur für Spannungen bis zu 160 Volt. Die Gegenwart der Halogengasatmosphäre, sowie der allmählich entstehenden flüchtigen Wolframhalogenverbindungen führt oft zu Vakuumlichtbogenentladungen und Kurzschluß in den Lampen, welche Erscheinungen bei den hochvoltigen Lampen sich am stärksten bemerkbar machen. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft hat in einer Deutschen Patentanmeldung (A. 22794, 1912) eine neuartige Füllung angegeben, welche auch für hochvoltige Lampen sich sehr gut eignen soll. Die Firma verwendet als Füllung Substanzen, welche in der Glühlampe langsam geringe Mengen Sauerstoff entwickeln. Als solche Substanzen werden vor allem Chlorate, speziell das Bariumchlorat, genannt. Die Gegenwart sehr geringer Mengen von Sauerstoff in der Glühlampenatmosphäre hat ungefähr dieselbe Wirkung wie die Halogene, indem sich auch der Sauerstoff mit dem zerstäubten Metall unter Bildung farbloser, durchsichtiger Verbindungen umsetzt. Der große Vorteil in der Anwendung von Sauerstoff an Stelle der Halogene liegt aber darin, daß die gebildeten Oxyde im Gegensatz zu den Wolframhalogenverbindungen nicht flüchtig sind und dadurch auch keine Vakuumlichtbogenentladungen in der Glühlampe verursachen können. Die Sauerstofffüllungslampe scheint somit eine ideale Hochvoltfüllungslampe zu sein. In der Tat ist es nur die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft gewesen, welche Füllungslampen für alle Spannungen fabrizieren konnte. Die Sauerstofffüllungslampe besitzt nur den Nachteil, daß während der Brennzeit oft ein irisierender Beschlag,

welcher aus Wolframoxyden besteht, an den Glaswänden der Glühlampen entsteht. Dieser Schönheitsfehler dürfte jedoch bei den Hochkerzenlampen nicht allzu sehr ins Gewicht fallen. Die Einführung der Wolframfüllungslampe bedeutet einen großen Fortschritt, und der Kampf, welchen die hochkerzigen Wolframlampen gegen die Bogenlampen führen, wurde durch diese Neuerung wesentlich zugunsten der ersten erleichtert.

### **Die Halbwatt-Wolframlampe mit Stickstofffüllung.**

In neuester Zeit werden von den großen Glühlampenfirmen Wolframlampen in den Handel gebracht, welche bei der Belastung von 0,5 Watt/HK. eine Nutzbrenndauer von etwa 800 Stunden aufweisen. Diesen neuen großartigen Erfolg verdankt man den genauen Untersuchungen, welche in den Laboratorien der G. E. C. in Schenectady und der A. E. G. in Berlin ausgeführt wurden. Die neue Halbwatt-Wolframlampe ist ebenso wie die Füllungslampe ein glänzender Beweis dafür, daß die genaue Kenntnis der chemisch-physikalischen Vorgänge, welche sich in der Glühlampe abspielen, hervorragende Erfolge zeitigt.

Wir haben im letzten Kapitel die elektrischen und chemischen Erscheinungen, welche man in den Glühlampen beobachten kann, eingehend besprochen. Es wurde dabei darauf hingewiesen, von welcher großer Bedeutung für das Verhalten der Glühlampen die in denselben vorhandenen Gasströme, sowie die Einwirkung der Gase auf den Leuchtkörper selbst sein können. Es wurde vorausgesagt, daß die vollständige Verhinderung der beiden Erscheinungen sehr wahrscheinlich zu einem neuen Erfolg führen dürfte.

Die elektrischen Gasströme, welche in den Glühlampen auftreten, können nach den Erfahrungen aus der Physik entweder dadurch verhindert werden, daß man ein möglichst vollständiges Vakuum herstellt oder die Lampe mit inerten Gasen von ziemlich hohem Druck (ungefähr 1 Atmosphäre) füllt. In beiden Fällen wird ein Elektrizitätsdurchgang durch den Lampengasraum ohne weiteres verhindert, da die Dielektrizitätskonstante des absoluten Vakuums und der Gase bei Atmosphärendruck sehr hoch ist. Die nach dieser Richtung unternommenen Versuche ergaben nun, daß sich der Herstellung eines praktisch absoluten Vakuums in den Glühlampen fast unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenstellen. Bei den bestausgepumpten Lampen blieben in dem Glühkörper, den Haltern und an der Glockenwand ganz geringe Gasmengen zurück, welche manchmal weniger als 1 mm betragen. Bei der Untersuchung, welche Gase haupt-

sächlich das Schwärzen verursachen, stellte es sich heraus, daß es vor allem der Wasserdampf ist. Es konnte festgestellt werden, daß bei Gegenwart von sehr geringen Mengen von Wasserdampf, es genügt z. B. ein Druck von 0,0001 mm *Hg*, der Glühkörper mit diesem ein flüchtiges Wolframoxyd und Wasserstoff bildet. Das so gebildete Wolframoxyd wird sodann auf der Glockenwandung durch den Wasserstoff unter Wiederbildung von Wasserdampf reduziert und in einen Beschlag aus metallischem Wolfram verwandelt. Es ist also ein vollständiger chemischer Kreislauf, welcher das Hinüberdestillieren von Wolfram aus dem Glühkörper auf die Glockenwandung bewirkt.

Durch vollkommene Entfernung von Wasserdampf konnte jedoch das Schwärzen nicht ganz verhindert werden. Die Schwärzung bei Abwesenheit von Wasserdampf mußte nun auf gewöhnliche Verdampfung des Wolframs (thermischer oder elektrischer Natur) zurückgeführt werden. Es wurde deshalb versucht, durch Einführung von inerten Gasen, wie Stickstoff, Argon, Quecksilberdampf, bei atmosphärischem Druck die Verdampfung des Wolframs aus den Glühkörpern zu verhindern. Die Versuche haben auch tatsächlich erwiesen, daß die Verdampfung des Wolframleuchtkörpers in einem Gas von hohem Druck geringer ist als im luftleeren Raum, gleiche Temperatur des Leuchtkörpers in beiden Fällen vorausgesetzt. Die Entdeckung dieser Tatsache allein hätte jedoch nicht genügt, um einen technischen Effekt zu erzielen. Wir wissen, daß die Gegenwart von Gasen bei höherem Druck eine sehr starke Wärmekonvektion von dem Glühkörper in der Lampe bewirkt, wodurch große Energieverluste verursacht werden. Man müßte also, um in einer mit Gas gefüllten Lampe den Leuchtkörper auf gleiche Glut wie im Vakuum zu bringen, viel größere Energiemengen demselben zuführen.

Es wurden nun die Wärmeverluste der Glühkörper in verschiedenen Gasen studiert. Hierbei ergab sich, daß der Wärmeverlust durch Konvektion ungefähr proportional der 1,5ten Potenz der Glühkörpertemperatur ist. Hingegen wächst die ausgestrahlte Energie ungefähr mit der 4,7ten Potenz der Temperatur des Leuchtkörpers. Es ergibt sich daraus, daß durch Steigerung der Glühkörpertemperatur der Wärmeverlust durch Konvektion infolge der eintretenden günstigeren Strahlung sehr bald aufgewogen werden könnte. Der Versuch lehrte aber gleichzeitig, daß die nötige Temperaturerhöhung, welche diesen günstigen Erfolg hervorrufen kann, zu groß ist, als daß sie der Leuchtkörper lange ertragen könnte. Die Verdampfung ist trotz der Gasfüllung sehr stark, und der Glühkörper brennt in kurzer Zeit durch. Nun wurde im Versuchslaboratorium der A. E. G.

gefunden, daß der Wärmeverlust durch Konvektion bei dünnen Drähten und hohen Temperaturen fast so groß ist als bei Drähten von viel größerem Durchmesser. Die kühlende Wirkung des Gases spielt somit bei dünnen Drähten eine viel größere Rolle als bei dickeren. So benötigt z. B. ein Wolframdraht von 0,0025 mm Durchmesser in Stickstoff bei Atmosphärendruck und einer Temperatur, welche der eines bei 1,0 Watt im Vakuum brennenden Fadens entspricht, fast 4,8 Watt/HK., während ein zehnmal so dicker Wolframdraht bei derselben Temperatur mit einem Nutzeffekt von nur 1,59 Watt/HK. brennt. Es ergibt sich daraus, daß es vorteilhaft erscheint, in Glühlampen mit Gasfüllung dicke Glühkörper zu benutzen. Dasselbe Ergebnis kann man praktisch erzielen, wenn man den Wolframdraht zu einer dichtgewundenen Spirale aufwickelt. In einem einfachen Versuche läßt sich der große Unterschied nachweisen, welcher zwischen einer mit Stickstoff gefüllten Lampe, deren Leuchtkörper geradegestreckt oder zu einer engen Spirale gewickelt ist, besteht. Zwei solche Lampen, deren Leuchtkörper gleiche Längen und denselben Durchmesser besitzen, werden durch ein Glasrohr miteinander verbunden. Im Vakuum verbrauchen beide Lampen die gleiche Wattzahl und entwickeln dieselbe Lichtstärke. Läßt man nun in die Lampen Stickstoff bis zu einem Druck von ungefähr  $\frac{1}{2}$  Atmosphäre einströmen, so sinkt die Temperatur des geradegestreckten Leuchtkörpers außerordentlich, während sich die Lichtstärke der Spiraldrahtlampe kaum ändert. Will man durch vergrößerte Energiezufuhr die Lampe mit dem angespannten Draht auf die ursprüngliche Lichtstärke bringen, so muß man derselben fast die doppelte Energiemenge zuführen als der Spiraldrahtlampe.

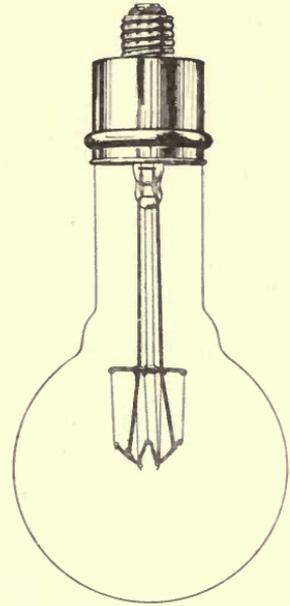
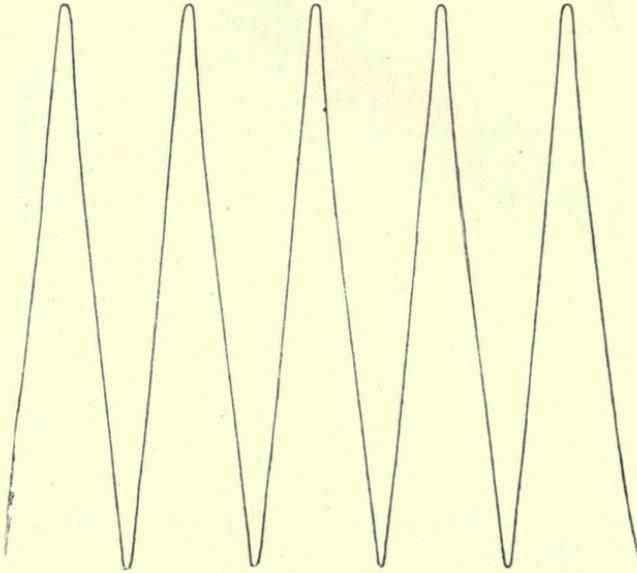


Fig. 76.

Durch die Entdeckung der Vorzüge des Spiralleuchtkörpers wurde erst die Konstruktion einer Glühlampe mit Gasfüllung ermöglicht. Die geringe Wärmekonvektion von dem derart gestalteten Leuchtkörper kann durch die Erhöhung der Temperatur des Leuchtkörpers ohne weiteres kompensiert werden. Ja, man darf sogar, infolge der geringen Verdampfung des Wolframs in Gasen von höherem Druck, die Temperaturerhöhung bis zu einem Nutzeffekt von 0,5 Watt/HK. weiter treiben.

Die neuen 0,5 Watt-Wolframlampen besitzen eine wesentlich verschiedene Form als die bisher bekannten hochkerzigen Wolframlampen. Fig. 76 zeigt eine von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin hergestellte 0,5 Watt-Wolframlampe, die sogen. Nitalampe. Die neuen Lampen besitzen eine beträchtlich kleinere Glocke. Eine 2000kerzige Nitalampe besitzt eine Glocke von 200 mm Durchmesser, während die frühere 1000kerzige Wolfram-



Leuchtkörper einer Metalldrahtlampe 0,8 Watt, 1000 Kerzen, 110 Volt.



Leuchtkörper einer Nitalampe  
0,5 Watt, 1000 Kerzen, 110 Volt.

Fig. 77.

lampe eine Glocke von 240 mm besitzt. Der Hals der Lampe ist erheblich länger und dient als Kondensations- und Kühlraum für das Gas. Die verdampften Wolframteilchen werden mit dem heißen Gasstrom in den Hals geführt, so daß nur dort der Beschlag entsteht, während der untere, für die Lichtstrahlung wesentliche Teil der Glocke völlig klar bleibt. Der Leuchtkörper selbst besitzt eine sehr gedrungene Form. Fig. 77 zeigt das Größenverhältnis, welches zwischen dem Leuchtkörper einer 1000kerzigen Wolframlampe alter Type und einer gleichkerzigen Halbwattlampe besteht.

Als Gasfüllung wird für die Lampen Stickstoff verwendet von etwa  $\frac{2}{3}$  Atmosphären Druck.

Die Halterung des Spiralleuchtkörpers kann sehr verschieden sein, je nach der Art, wie man die Lichtstrahlung der Lampen nach verschiedenen Richtungen verteilen will. Das Licht der Halbwattlampe ist viel weißer als das Licht der gewöhnlichen Wolframlampen und dadurch viel ähnlicher dem Tageslicht. Dies wird durch die wesentlich höhere Temperatur des Leuchtkörpers, welche ungefähr

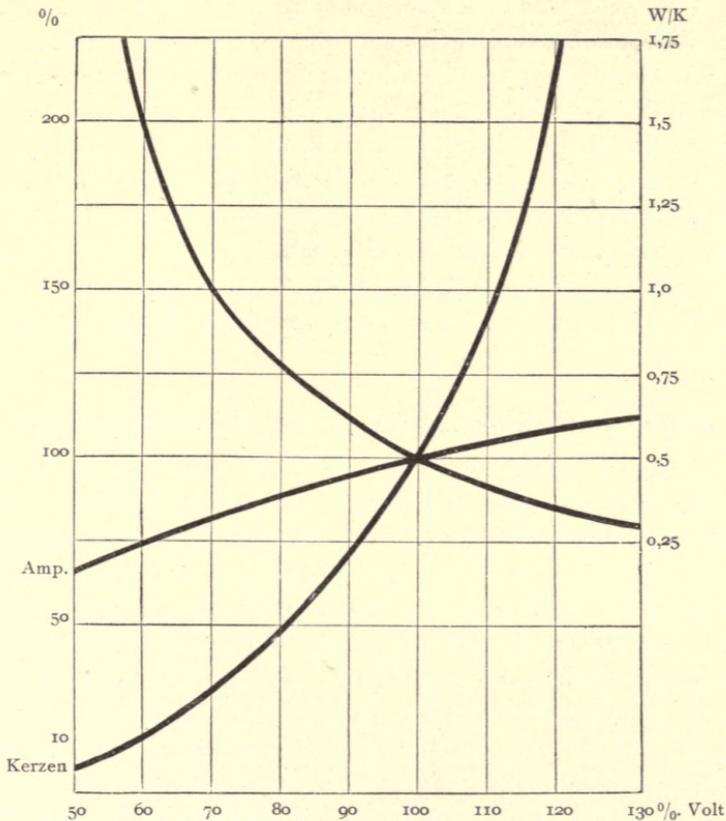


Fig. 78. Abhängigkeit der Licht- und Stromstärke und des spez. Wattverbrauchs von der Spannung.

2400<sup>0</sup> C beträgt, verursacht. Die Lampen werden gewöhnlich mit einer hellen Opalglasglocke versehen, da sonst das auf den engen Raum zusammengedrückte Licht für das Auge zu grell erscheint. Die für die Halbwattlampe charakteristische „Konstante“ zeigt Fig. 78. Die Halbwattlampen werden für Lichtstärken von 600 bis 3000 Kerzen gebaut. Mit diesen hohen Lichtstärken fällt die Lampentype aus dem Gebiet der gewöhnlichen Glühlampen heraus und kann als Lichtquelle nur mit dem Bogenlicht und Preßgaslicht verglichen werden. Demgemäß erfolgt auch die Lichtmessung der neuen Wolfram-

lampen nicht senkrecht zur Lampenachse, sondern es wird bei dieser Lampentype die mittlere Lichtstärke der unteren Halbkugel, ähnlich wie bei Bogen- und Preßgaslicht, bestimmt. Unter solchen Bedingungen besitzen die neuen Wolframlampen einen Nutzeffekt von 0,5 Watt/HK. Das entspricht einem Verbrauch der nackten Lampe, bezogen auf die mittlere räumliche Lichtstärke, von etwa 0,65 Watt/HK.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß in kurzer Zeit auch niedrigerkerzige Wolframlampen der neuen Type hergestellt werden.

Wie sich die patentrechtliche Seite dieser neuen Erfindung verhält, läßt sich vorläufig noch wenig sagen. Zweifellos wurden schon oft Glühlampen mit Gasfüllungen, auch Stickstoff, vorgeschlagen (Edison, engl. Pat. 6193 vom 28. Dezember 1882). Auch die Verwendung von spiralförmig gewundenen Glühkörpern stellt durchaus nichts Neues vor. Nach Ansicht des Verfassers ist jedoch die konsequente und zielbewußte Kombination der bekannten Tatsachen in unserem Falle unbedingt als eine Erfindung im strengsten Sinne anzusprechen.

### **Allgemeine Eigenschaften der Wolframlampen.**

#### Der Wolframdraht als Leuchtkörper.

Wir wollen nun untersuchen, inwieweit die physikalischen Eigenschaften des Wolframs dessen Anwendung als Leuchtkörpermaterial rechtfertigen. Vor allem ist der außerordentlich hohe Schmelzpunkt des Wolframs — nach den neuesten Messungen liegt derselbe bei etwa  $3000^{\circ}\text{C}$  — und die geringe Verdampfbarkeit bei hohen Temperaturen, welche gestatten, dieses Metall als Leuchtkörper in den Glühlampen möglichst hohen Temperaturen auszusetzen. Hieraus resultiert die große Wirtschaftlichkeit der Wolframlampe, welche diese Glühlampe vor allen anderen auszeichnet. Wir verdanken M. von Pirani und Alfred R. Meyer sehr genaue Daten über die Temperaturen, welche den verschiedensten Belastungen des Wolframleuchtkörpers entsprechen („Verh. d. Deutsch. Physik. Ges.“, Bd. 19, S. 213). In der unten angeführten, den Untersuchungen entnommenen Tabelle finden wir, daß der Wolframdraht bei der normalen Belastung von 1,1 Watt/HK. in gewöhnlichen Lampen und 0,8 Watt/HK. bei den Füllungslampen Temperaturen von  $2202^{\circ}$  bzw.  $2399^{\circ}\text{C}$  ausgesetzt wird. Diese hohen Gluten verträgt der Leuchtkörper im höchsten Vakuum der Glühlampen durch Tausende von Stunden hindurch, ohne dabei wesentlich zu zerstäuben.

In der Tabelle findet sich die direkt gemessene schwarze Temperatur des Leuchtkörpers, aus welcher unter Berücksichtigung

## Wolframlampen.

Watt/HK.	Schwarze Faden-temperatur in Grad C	Wahre Faden-temperatur in Grad C	Watt/HK.	Schwarze Faden-temperatur in Grad C	Wahre Faden-temperatur in Grad C
12,5	1442	1538	1,0	2115	2301
12,0	1450	1547	0,95	2136	2323
11,0	1466	1565	0,90	2155	2346
10,0	1486	1586	0,85	2176	2371
9,0	1509	1610	0,80	2200	2399
8,0	1534	1638	0,75	2226	2430
7,0	1563	1667	0,70	2254	2463
6,0	1597	1703	0,65	2284	2499
5,0	1637	1754	0,60	2318	2538
4,0	1692	1816	0,55	2357	2582
3,0	1767	1901	0,50	2401	2632
— 2,0	1887	2035	0,45	2451	2692
1,5	1978	2140	0,40	2509	2762
1,4	1998	2166	0,35	2578	2845
1,3	2023	2194	0,30	2660	2943
1,2	2051	2226	0,25	2767	3074
1,1	2082	2262			

des von von Wartenberg bestimmten Absorptionsvermögens ( $A_i = 0,05$ ) für Wolfram die wahre Fadentemperatur berechnet wurde. In der zweiten Tabelle finden wir die pro Quadratmillimeter Oberfläche von Wolfram bei verschiedenen Temperaturen ausgestrahlte Kerzenzahl (Dr. M. von Pirani und Dr. A. R. Meyer, „ETZ“ 1912, S. 456).

Temperatur in Grad C	HK./qmm	Temperatur in Grad C	HK./qmm
2666	10,0	1964	0,6
2513	6,0	1887	0,4
2397	4,0	1772	0,2
2220	2,0	1665	0,1
2065	1,0	1596	0,06

Loring bestimmte die Flächenhelle von verschiedenen Glühlampen bei deren normalen Belastungen („The Illum. Eng. London“, Bd. 2, S. 398 [1909]). Nachfolgende Tabelle gibt das Resultat dieser Untersuchungen wieder:

### Flächenhelle von Glühlampenfäden.

	Spezifischer Verbrauch Watt/HK.	Flächenhelle HK/qcm
Kohlefaden . . . . .	2,75	85
Metallisierter Kohlefaden . . . . .	2,20	110
Tantalfaden . . . . .	1,75	132
Wolframbfaden . . . . .	1,10	176

Das Wolframmetall besitzt auch zweifellos selektive Strahlungseigenschaften. Wohl ist das selektive Strahlungsvermögen von Wolfram bei weitem nicht ideal, und der Energiegehalt der ultraroten, unsichtbaren Strahlen überwiegt auch hier weitaus den Energiegehalt des sichtbaren Spektralbezirkes. Jedoch schon die geringen selektiven Strahlungseigenschaften des Wolframs bewirken, daß dieses Material wesentliche Vorzüge als Strahler gegenüber der Kohle aufweist. Wir besitzen auch Untersuchungen quantitativer Art über die selektiven Strahlungseigenschaften des Wolframs (W. W. Coblentz, „Zeitschr. f. Bel.“ 1910, S. 209); leider haben sich aber dieselben als nicht verlässlich genug erwiesen.

Von großer Wichtigkeit ist der positive Temperaturkoeffizient der elektrischen Leitfähigkeit des Wolframs. Er beträgt zwischen  $0^{\circ}$  bis  $170^{\circ}$  C 0,0051 pro Grad C. Dies hat zur Folge, daß der Glühkörper bei der hohen Temperatur während des Brennens einen wesentlich höheren spezifischen Widerstand besitzt als bei Zimmertemperatur. Der Widerstand eines Wolframdrahtes bei 1,1 Watt Belastung ist fast zwölfmal so groß als bei Zimmertemperatur. Diese Eigenschaft ist aus verschiedenen Gründen sehr willkommen. Der Glühlampentechnik ist vor allem jede Ursache, die den Widerstand des Leuchtdrahtes erhöht, sehr willkommen, da die Herstellung von allzu dünnen Drähten, wie es die große Leitfähigkeit des Materials erfordert, an sich sehr große Schwierigkeiten bereitet. Außerdem besitzt die Wolframlampe infolge des starken positiven Temperaturkoeffizienten die sehr erwünschte Eigenschaft der Selbstregulierung bei Spannungsschwankungen. Im Lichtnetz kommen oft Spannungsschwankungen vor, welche einen Wechsel der Stromgröße und somit der Wattzufuhr, Kerzenstärke und Belastung der Lampe verursachen. Nun wird aber der Wolframdraht bei steigender Spannung heißer, vergrößert infolgedessen seinen Widerstand und arbeitet dadurch dem Anwachsen der Stromstärke, der Wattzufuhr und Belastung entgegen. Infolgedessen ist die Zunahme der Lichtproduktion und der Belastung nicht proportional der jeweiligen Spannungszunahme, sondern viel geringer. Die Wolframlampe ist infolge des großen Temperaturkoeffizienten des Leuchtdrahtes gegenüber Spannungsschwankungen unempfindlicher als alle anderen Glühlampen. Fig. 79 zeigt das Verhältnis Lichtschwankung : Spannungsschwankung bei verschiedenen Glühlampen. Hieraus ersieht man, daß die Wolframlampe für Spannungsschwankungen die unempfindlichste Glühlampe ist. Hirschauer fand („ETZ“ 1908, S. 89), daß bei einer Spannungsschwankung von 5 % die Lichtschwankung für die

Nernstlampe . . . . .	50 0/0,
Kohlenfadenlampe . . . . .	31,5 0/0,
Tantallampe . . . . .	21,5 "
Osmiumlampe . . . . .	21,0 "
Wolframlampe . . . . .	20 0/0

beträgt (siehe auch Clayton H. Sharp, „Proc. of the Am. Inst. of El. E.“, Dezember 1906, S. 809). Noch eine interessante Konsequenz ergibt sich aus dem großen Temperaturkoeffizienten des Wolframdrahtes.

Beobachtet man das Angehen einer Wolframlampe und Kohlenfadenlampe beim Einschalten, so kann man ohne weiteres feststellen, daß die Wolframlampe in viel kürzerer Zeit nach dem Moment des Einschaltens auf ihre volle Glut gelangt als die Kohlenfadenlampe. Die Ursache dieser Erscheinung ist die Verschiedenheit der Temperaturkoeffizienten der beiden Leuchtmaterialien. Die Wolframlampe besitzt bei Zimmertemperatur einen fast zwölfmal so kleinen Widerstand als bei normaler Belastung. Im

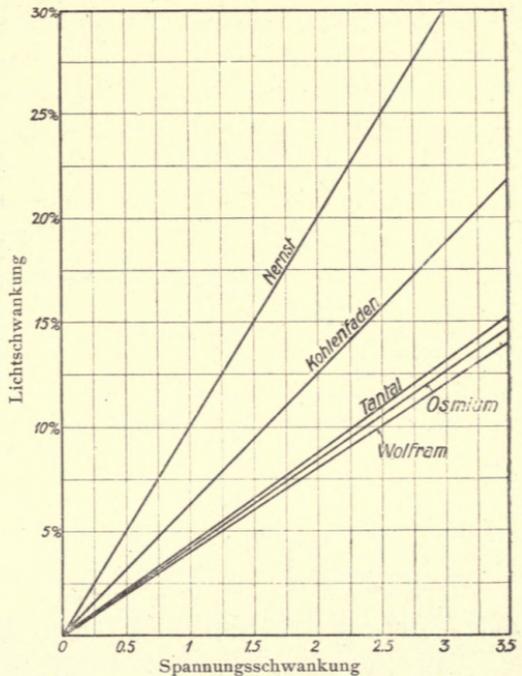


Fig. 79.

Im Moment des Einschaltens fließt durch die Lampe ein fast zwölfmal so großer Strom wie gewöhnlich, welcher natürlich die Lampe in kürzester Zeit in volle Glut bringt. Der hohe Anfangsstrom verursacht ein momentanes Aufblitzen der Lampe, welches sowohl mit freiem Auge beobachtet als auch photometrisch festgestellt werden kann. Im Gegensatz zur Wolframlampe besitzt die gewöhnliche Kohlenfadenlampe bei Zimmertemperatur einen sogar etwas größeren Widerstand als bei normaler Belastung. Dies hat zur Folge, daß beim Einschalten der Strom etwas kleiner ist als der Normalstrom der Lampe und allmählich, in dem Maße, wie sich der Kohlenfaden erwärmt, die Größe des Normalstromes erreicht. Fig. 80 zeigt das Diagramm einer oszillographischen Aufnahme des Zündstromes einer Wolfram-

und einer Kohlenfadenlampe. Die Linie *a* bedeutet die Ruhestellung des Stromoszillographenschreibers. Beim Einschalten der Wolframlampe schnellt der Schreiber plötzlich hinauf und fällt allmählich in die Lage des normalen Lampenstromes. Bei der Kohlenfadenlampe hingegen steigt der Schreiber im Moment des Einschaltens in die Höhe, die unterhalb der normalen Stromlage sich befindet, und erreicht erst allmählich ansteigend die Normallage *b*.

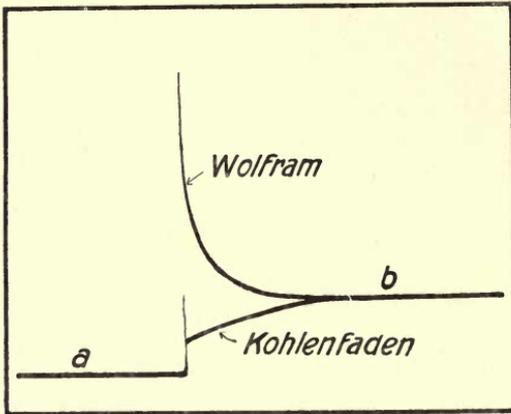


Fig. 80. Oszillogramm des Zündstromes bei Wolfram- und Kohlenfadenlampen.

Monasch bestimmte das Verhältnis von Zündstrom zu Betriebsstrom und fand für  
 Kohlenfaden 0,7;  
 Tantaldraht 4 — 6;  
 Wolframdraht 7 — 8.

Anfangs, bei der Einführung der Wolframlampen, als man noch diesen Tatsachen keine Rechnung trug, geschah es oft, daß beim Einschalten einer größeren Zahl von Glühlampen infolge des großen Zünd-

stromes die Sicherungen durchbrannten. Seitdem die wahre Ursache erkannt wurde, konnte durch Verstärkung der Sicherungen dieser kleine Übelstand behoben werden.

### Der spezifische Effektverbrauch und der Nutzeffekt der Wolframlampe.

Die Wolframlampe besitzt von allen bisher bekannten Glühlampen den geringsten spezifischen Effektverbrauch bei hinreichend großer Lebensdauer. Da die Glühlampen die Bestimmung haben, elektrische Energie in Licht umzuwandeln, so stellt die Zahl der elektrischen Energieeinheit (Watt), welche für die Entwicklung einer Lichteinheit (Hefnerkerze) von der Glühlampe verbraucht wird, einen bequemen Maßstab für den Effektverbrauch derselben dar. Folgende Tabelle zeigt uns den Wattverbrauch pro Hefnerkerze bei verschiedenen Glühlampen:

	Watt/HK.
Kohlenfadenlampe . . . . .	3,5
Lampe mit metallisiertem Kohlenfaden . . . . .	2,5
Nerüstlampe . . . . .	1,8
Tantallampe . . . . .	1,6
Wolframlampe . . . . .	1,1 — 0,5

Der in der Tabelle für jede Glühlampenart angeführte Wattverbrauch stellt denjenigen vor, welcher bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Nutzbrenndauer der Lampen sich als der praktischste für jede Glühlampenart erwiesen hat. Die Belastung der Wolframlampen ist verschieden bei verschiedenen Typen dieser Lampe. Vorwiegend werden Lampen für einen Energieverbrauch von 1,1 Watt/HK. fabriziert. Lampen für Spannungen von 220 Volt und darüber besitzen im allgemeinen einen Wattverbrauch, welcher sich auf etwa 1,2 Watt/HK. beläuft. In neuester Zeit ist es gelungen, durch entsprechende Füllungen die Nutzbrenndauer der Wolframlampen wesentlich zu vergrößern, so daß man bei solchen Lampen auch die Belastung auf etwa 0,8 Watt/HK., schließlich auf 0,5 Watt/HK. steigern konnte. Zu bemerken sei noch schließlich, daß der spezifische Effektverbrauch der Glühlampe im allgemeinen in der Weise bestimmt wird, daß man die Zahl der der Lampe zugeführten Watt durch die ausgestrahlte mittlere horizontale Hefnerkerzenzahl dividiert. Trotzdem die Wolframlampe von allen Glühlampen den günstigsten spezifischen Effektverbrauch besitzt, ist der Nutzeffekt auch bei dieser Lampe sehr klein. Der Energiewert der von der Lampe ausgestrahlten, als Licht empfundenen Strahlen ist im Verhältnis zur aufgewendeten Energie sehr gering. Dieses Verhältnis, Energiewert der Lichtstrahlen : Aufgewendete Energie, wird Nutzeffekt genannt. Nach Leimbach („ETZ“ 1911, S. 266) beträgt derselbe bei der gewöhnlichen Wolframlampe 3,50 %, der Rest der der Lampe zugeführten Energie geht in Form von Wärmestrahlen und durch Wärmeableitung verloren. Die nachfolgende Tabelle, welche die Versuchsergebnisse von Dr. J. Rußner („ETZ“ 1911, S. 1026) wiedergibt, zeigt in besonders übersichtlicher Weise die Ökonomie der Umwandlung von Elektrizität in Licht bei verschiedenen Belastungen der Wolframlampen. Hierbei wird unter Lichteffect das Verhältnis: Energiewert der Lichtstrahlung : Energiewert der Gesamtstrahlung verstanden.

### Wolframlampe.

Volt	Amp.	Watt	Horizontalintensität in Hefnerkerzen	Watt pro Hefnerkerze	In Licht verwandelte Watt	Lichteffect in Prozent
60	0,67	40,2	42	0,95	1,73	4,3
70	0,74	51,8	51	0,74	2,75	5,3
80	0,80	64,0	111	0,58	3,84	6,0

Hieraus ersehen wir deutlich, daß nur ein Bruchteil der der Lampe auch bei hohen Belastungen zugeführten Watt in Licht umgewandelt wird. Es ist von Interesse, die Grenzen kennen zu

lernen, bis zu welchen die Ökonomie der Umwandlung von Elektrizität in Licht getrieben werden könnte. H. Buisson und Ch. Fabry („Zeitschr. f. Bel.“ 1911, S. 406; „Compt. rend.“, 24. Juli 1911) haben für verschiedene Strahlenarten die pro mittlere sphärische Kerze ausgestrahlten Watt ermittelt und gefunden, daß eine Lampe, welche nur grüne Strahlen, für welche unser Auge am empfindlichsten ist, aussenden würde, nur 0,018 Watt pro Kerze verbrauchen würde. Demgemäß würde die Lichtintensität einer solchen idealen Lampe 55 Kerzen pro 1 Watt betragen. Dieses „mechanische (besser elektrische) Äquivalent des Lichts“ ist früher von Drysdale mit 17, von Hyde mit 72 bestimmt worden. Freilich wäre eine solche Lampe, welche nur eine Strahlenart aussendet, für die Praxis völlig unbrauchbar. Man kann jedoch ungefähr berechnen, unter Berücksichtigung des Energiegehaltes von Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge und der Empfindlichkeit des menschlichen Auges für die verschiedenen Lichtsorten, daß eine Lampe, welche nur Lichtstrahlen, wie solche im gewöhnlichen Tageslicht enthalten sind, aussenden würde, pro 1 Watt elektrischer Energie etwa 30 HK. Licht aussenden müßte. Dieses Endziel zu erreichen, wird in Wirklichkeit wohl kaum je gelingen, die Tatsachen sollen uns nur vor Augen halten, daß es prinzipiell möglich ist, die Umwandlung von Elektrizität in Licht noch weitaus günstiger zu gestalten, als dies heute mit der wirtschaftlichsten aller Glühlampen, der Wolframlampe, geschieht.

### **Die Lebensgeschichte der Wolframlampe.**

Die wichtigste und ausschlaggebende Prüfung der Glühlampen ist die Untersuchung der Lebensgeschichte während der Brenndauer. Im praktischen Gebrauch werden die Glühlampen bei einer bestimmten Spannung das ganze „Leben“ hindurch gebrannt. Die Stromstärke der Lampe ändert sich während der ganzen Lebensdauer infolge der Zerstäubung und Änderung des Sinterungs- oder Kristallisationszustandes des Leuchtkörpers. Die Änderung der Lichtstärke ist von der Änderung des physikalischen Zustandes, hauptsächlich aber von der Bildung des Beschlages an der Glockenwand abhängig. Die fortschreitende Zerstäubung des Leuchtkörpers bringt es mit sich, daß die Lichtstärke der Lampe dauernd abnimmt. In der Praxis nennt man die Zeit, in welcher die Lampe beim Brennen 20 % ihrer ursprünglichen Lichtstärke verliert, die Nutzbrenndauer der Lampe. Es empfiehlt sich nämlich aus wirtschaftlichen Gründen, eine solche Lampe gegen eine neue auszutauschen, da die Verluste, welche beim Brennen der Lampen über die Nutzbrenndauer hinaus

infolge des vergrößerten spezifischen Effektverbrauches sich einstellen, die Ersatzkosten zu übersteigen beginnen. Die Nutzbrenndauer als solche spielt in der Praxis keine große Rolle; erstens weil der Konsument wohl sehr selten in der Lage ist, die prozentuale Lichtabnahme zu messen, zweitens und hauptsächlich aus dem Grunde, weil die Zerstäubung und die Lichtabnahme bei den Wolframlampen so langsam verläuft, daß die Nutzbrenndauer ungefähr gleich ist der absoluten Lebensdauer, das ist der Zeit, in welcher der Glühkörper selbst, infolge der verschiedenen physikalischen Veränderungen, zerfällt. Die Glühlampentechnik berücksichtigt nach Möglichkeit die Verhältnisse und ist im allgemeinen bestrebt, die Glühlampen so herzustellen, daß deren Nutzbrenndauer mit der absoluten Lebensdauer zusammenfällt. Prüfungen, die von objektiver Seite an Wolframlampen verschiedenen Ursprungs ausgeführt wurden, haben ergeben, daß die Nutzbrenndauer der Wolframlampen 2000 Stunden oft übersteigt. Oft wurden sogar die extrem hohen Werte von 10000 Stunden beobachtet. Es läßt sich bei dem heutigen Stande der Glühlampentechnik kaum mehr sagen, welche Fabrik die besten Lampen fabriziert, da die kleinen Differenzen der Prüfung von Lampen verschiedenen Ursprungs mehr auf Zufall zurückzuführen sind. Einige Prüfungsergebnisse seien im folgenden angeführt. Das Verhalten der Lampen wurde in den sogen. Brenndauerversuchen beobachtet, wobei die Lampen den in der Praxis vorkommenden Bedingungen ausgesetzt wurden. Brenndauerversuche, welche von der Glühlampenprüfstelle der städtischen Elektrizitätswerke Wien an je zehn Wolframlampen (Vertex) der Firma Westinghouse, Metallfadenglühlampenfabrik in Wien, ausgeführt wurden, haben folgendes Resultat ergeben (im Mittel):

Type	Brenndauer Stunden	Lichtstärke		Wattverbrauch		Lichtabnahme in Prozent	Spezifischer Effektverbrauch	
		am Anfang	am Ende	am Anfang	am Ende		am Anfang	am Ende
115 Volt 30 K.	1287	29,65	24,23	36,75	36,22	18,28	1,24	1,49
222 " 50 "	1947	49,52	46,0	62,96	61,92	7,10	1,27	1,34

Diese Prüfung wurde bereits in den Jahren 1908 und 1909 ausgeführt. Das Ergebnis einer Brenndauerprüfung, welche die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Charlottenburg an den modernen Wolframdrahtlampen der Auergesellschaft (Osramlampen) ausgeführt hat, gibt die nachfolgende Tabelle wieder. Die Prüfung wurde mit Wechselstrom ausgeführt, ohne daß besondere Einrichtungen zur

Vermeidung von Spannungsüberschreitungen getroffen waren, so daß die Prüfung den in der Praxis vorkommenden Bedingungen möglichst angepaßt wurde. Geprüft wurden acht Lampen für 16 Kerzen 220 Volt, von denen eine nach 580 Brennstunden durchbrannte. Die anderen sieben zeigten im Mittel folgendes Verhalten:

Brenn- dauer Stunden	Lichtstärke		Wattverbrauch		Licht- abnahme in Prozenten	Spezifischer Effektverbrauch	
	am Anfang	am Ende	am Anfang	am Ende		am Anfang	am Ende
1250	16,7	15,5	20,81	20,30	7,12	1,25	1,31

Die Abnahme der Lichtstärke mit der Brenndauer zeigen auch die Fig. 81 u. 82. Beide Versuche wurden mit den Wolframdraht-

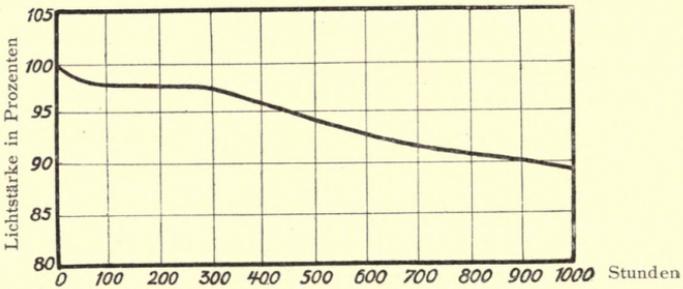


Fig. 81. Brenndauerversuch mit Wolframdrahtlampen, 16 HK., 220 Volt.

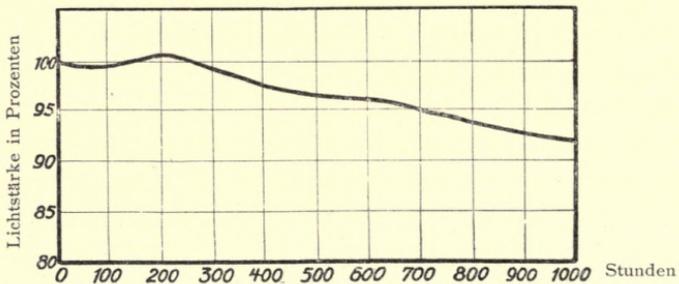


Fig. 82. Brenndauerversuch mit Wolframdrahtlampen, 400 HK., 110 Volt.

lampen der Auergesellschaft ausgeführt. Es liegen auch Prüfungen der neuen Wolframfüllungslampen vor, welche die vorzüglichen Eigenschaften dieser Lampen klar beweisen. Ich führe als Beispiel an das Prüfungsergebnis der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, welches mit den hochkerzigen Wolframfüllungslampen erhalten wurde. Vier Lampen für 400 Kerzen 110 Volt zeigten beim Brenndauer-versuch im Mittel folgendes Verhalten:

Brenn- dauer Stunden	Lichtstärke		Wattverbrauch		Licht- abnahme in Prozenten	Spezifischer Effektverbrauch	
	am Anfang	am Ende	am Anfang	am Ende		am Anfang	am Ende
1000	407	374	346	344	8,2	0,85	0,92

Die Lampen wurden mit Wechselstrom gebrannt. Das vorzügliche Resultat der Prüfung ist der beste Beweis dafür, welchen großen Fortschritt die Einführung der Wolframfüllungslampen bedeutet. Dr.-Ing. L. Bloch führt ein Diagramm vor (Fig. 83), aus welchem man die Nutzbrenndauer der Wolframlampen bei verschiedenen Belastungen entnehmen kann („ETZ.“ 1912, S. 791). Das Diagramm stützt sich auf Prüfungsergebnisse, welche aus zahlreichen Brenndauerversuchen gewonnen wurden, und darf wohl als sehr charakteristisch für die Wolframlampen bezeichnet werden. Freilich hat das Diagramm keine Geltung für die Füllungslampen, sondern nur für die gewöhnlichen Wolframlampen.

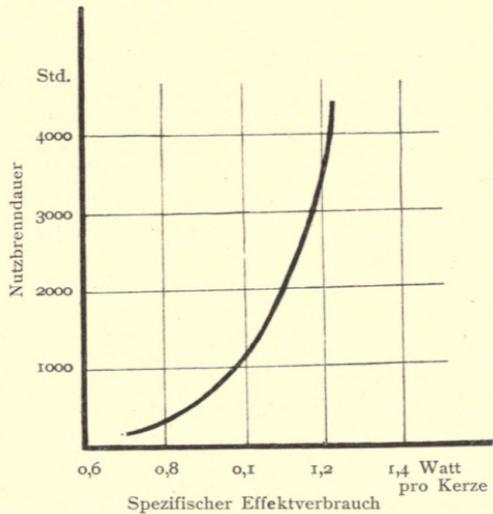


Fig. 83. Nutzbrenndauer der Wolframlampen bei verschiedenen Belastungen.

Es wurde oft nach dem Auftauchen der Wolframlampe mit gezogenem Leuchtkörper behauptet, daß diese Lampe eine geringere Lebensdauer besitzt als die Lampen, deren Leuchtkörper nach alten Spritzverfahren hergestellt wurden. Diese Behauptung mag wohl in bezug auf die in der allerersten Zeit fabrizierten Lampen mit gezogenem Wolframdraht einige Berechtigung gehabt haben. Inzwischen wurde aber die Qualität des gezogenen Wolframdrahtes derart verbessert, daß sogar die Überlegenheit der neuen Type in jeder Hinsicht über die alte bewiesen werden konnte.

### Die Konstante der Wolframlampe.

Wir wollen nun untersuchen, in welcher Weise mit der Änderung der Spannung, mit welcher die Wolframlampe betrieben wird, alle anderen Größen, wie Lichtstärke, Gesamtwattverbrauch

und der spezifische Effektverbrauch, sich in der Lampe verändern. Die Abhängigkeit der Kerzenstärke der Wolframlampen von der Spannung wurde durch die Formel  $J = aV^k$  ausgedrückt, wobei  $J$  die Kerzenstärke,  $V$  die Spannung,  $a$  und  $k$  Konstanten bedeuten. Auf Grund der praktischen Messungen wurden die Konstanten berechnet, wobei der Wert für  $k$  von verschiedenen Beobachtern verschieden groß gefunden wurde und zwischen 4,0 bis 3,6 variierte. In einer sehr schönen Untersuchung beweist F. E. Cady, daß der Wert für  $k$  eine variable Größe ist und von dem Wirkungsgrad der Lampe abhängt („Zeitschr. f. Bel.“ 1912, S. 109, 121; „Electr. Rev.“, Chicago, Nr. 22; „Transactions Illum. Eng. Soc.“, Bd. 3, S. 459, [1908]). Wäre nämlich  $k$  eine Konstante, so würde die Differentiation der Gleichung  $J = aV^k$  die Gleichung  $k = \frac{dJ}{J} : \frac{dV}{V}$  ergeben. Wir wissen aber, daß die rechte Seite der Gleichung unmöglich eine bei verschiedenen Belastungen der Lampe konstante Größe darstellen kann, da es bekannt ist, daß das Verhältnis des Prozentsatzes der Änderung der Lichtstärke  $\left(\frac{dJ}{J}\right)$  zu dem Prozentsatz der Änderung der Energiezufuhr  $\left(\frac{dW}{W}\right)$  ( $W = \text{Watt}$ ), also auch der Voltzufuhränderung  $\left(\frac{dV}{V}\right)$ , beim Übergang von niedrigen zu hohen Temperaturen sehr stark variiert. Die Folge davon ist, daß auch das  $k$  nicht als Konstante betrachtet werden kann. Durch sehr genaue Untersuchungen bei verschiedenen Belastungen hat nun Cady die Änderung der Größe  $k$  ermittelt. Die Tabelle gibt die Resultate seiner Beobachtungen wieder:

Prozente der normalen Spannung	Prozente des Wattverbrauchs	Prozente der normalen Kerzenstärke	$k$
60	44,2	14,3	4,06
70	56,6	26,4	3,90
80	70,0	44,1	3,77
85	77,3	55,4	3,71
90	84,6	68,4	3,66
95	92,0	83,2	3,60
100	100,0	100,0	3,56
105	108,0	118,8	3,51
110	116,1	139,8	3,46
115	124,6	163,0	3,42
120	133,4	188,4	3,39
130	151,5	246,4	3,32
140	170,6	314,3	3,25

In der Gleichung  $J = aV^k$  muß man dem  $k$  je nach der Belastung der Lampe ein Korrektionsglied hinzufügen. Zu diesem

Zweck verändert man die Gleichung in die praktischere Form  $\frac{J}{J_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^k$ , wobei  $J_0$  und  $V_0$  die normale Kerzenstärke resp. Spannung bedeuten. Nach der Hinzufügung des Korrektionsgliedes, durch welches der Änderung von  $k$  Rechnung getragen wird, erhält die Gleichung die Form:

$$\frac{J}{J_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{k_0} \left[ 1 + 0,02 \frac{V - V_0}{V_0} - 0,5 \left(\frac{V - V_0}{V_0}\right)^2 \right] \quad (1)$$

( $k_0$  bedeutet hier das  $k$  der normalen Belastung und ist = 3,56).

In ähnlicher Weise läßt sich das Korrektionsglied der Gleichung hinzufügen, welche die Beziehung zwischen Kerzenstärke und Wattzahl ausdrückt. Eine solche Gleichung wurde von Fery und Chéveneau („Bulletin Société Internationale des Electriciens“ [2], Bd. 9, S. 674 [1909]) unter Zugrundelegung der Strahlungsgesetze aufgestellt und lautet:  $J = A e^{-B W^{-c}}$  ( $A, B, c$  sind Konstanten,  $e$  die Basis der natürlichen Logarithmen,  $W =$  Watt). Nach Hinzufügung des experimentell ermittelten Korrektionsgliedes erhält die Gleichung die Form

$$J = J_0 e^{16,48 [1 - (W/W_0)^{-7,32}] \dots \dots \dots (2)}$$

in welcher  $J_0$  und  $W_0$  die der normalen Spannung entsprechenden Werte für die Kerzenstärke resp. Wattzahl bedeuten. Mit Hilfe der Gleichungen 1 und 2 kann man nun sehr genau die jeder Volt- resp. Wattzahl entsprechende Kerzenstärke bei Wolframlampen ermitteln, wenn man die Normalwerte ( $J, V, W$ ) besitzt. Schneller zum Ziele kommt man bei Verwendung von Diagrammen, welche den Zusammenhang zwischen Spannung, Wattverbrauch und Lichtstärke darstellen. Ein solches von Keil aufgestelltes Diagramm stellt Fig. 84 vor. Die Benutzung des Diagramms sei durch folgendes Beispiel erklärt (Entnommen dem Vortrag von Anton Lederer, gehalten in der IX. Jahresversammlung der Vereinigung österreichischer und ungarischer Elektrizitätswerke in Salzburg, 1912; „Elektrotechnik und Maschinenbau“ 1912, Heft 52): Die Normalwerte einer Wolframlampe seien 110 Volt, 32 Kerzen, 1,12 Watt, 35,84 Gesamtwatt. Um die Messung bei 99 Volt, das sind 90 % Spannung, sei gefragt. Die Konstante der Lichtstärke beträgt laut Kurve bei 90 % Spannung 0,67; daher ist die Lichtstärke  $32 \times 0,67 = 21,44$  Kerzen. Analog: Spezifischer Wattverbrauch  $1,12 \times 1,27 = 1,42$  Watt; Gesamtwattverbrauch  $35,84 \times 0,85 = 30,46$  Watt.

## Energieverluste in der Lampe durch Wärmeleitung.

Es ist interessant, die Größe der Verluste kennen zu lernen, welche sich infolge der Wärmeableitung an den Haltern und Leitungs-

### Konstante der Wolframlampe.

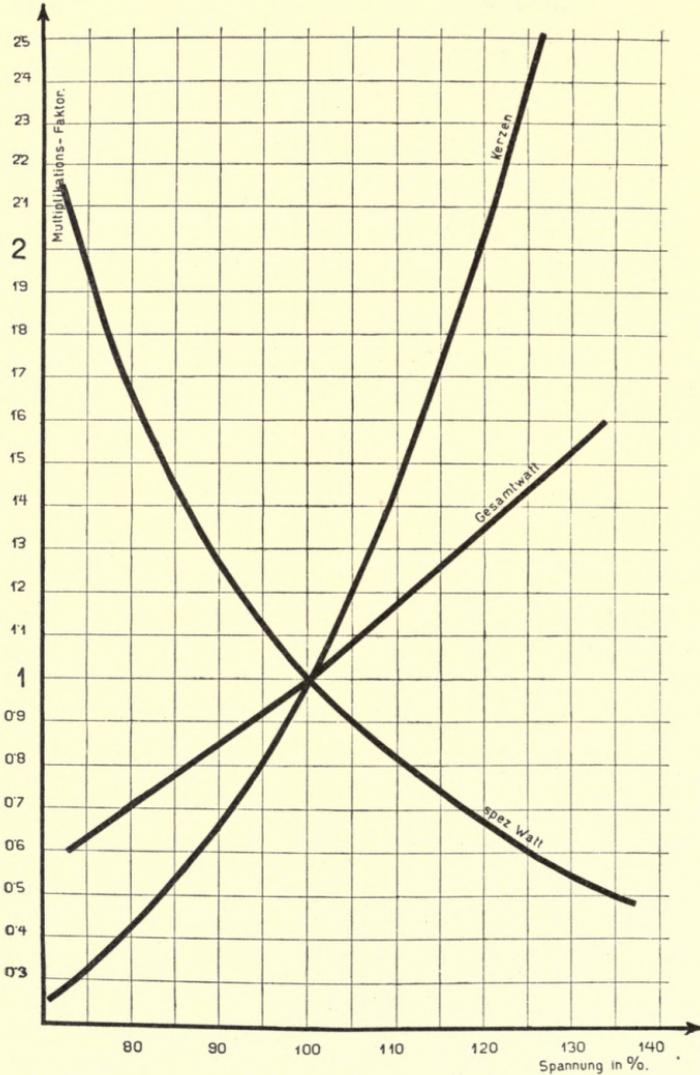


Fig. 84.

drähten bei den Wolframlampen einstellen. Solche Untersuchungen wurden von E. P. Hyde, F. E. Cady und A. G. Worthing ausgeführt („Zeitschr. f. Bel.“ 1911, Heft 15, S. 187; „Electrical World“,

Bd. 57, Nr. 10, S. 624 [1911]): Die Untersuchungen wurden in der Weise ausgeführt, daß das Bild eines dicken Wolframfadens mittels einer Linse in die Ebene des Fadens der zu untersuchenden Lampe projiziert wurde. Ein Fernrohr wurde auf das Bild des Fadens der Versuchslampe und somit auch auf das Bild des dicken Fadens der Hintergrundlampe eingestellt. Der Faden der Versuchslampe erschien durch das Fernrohr gesehen als eine helle oder dunkle Linie über dem hellen Bild des dicken Fadens der Hintergrundlampe, und durch Ändern des Stromes der Hintergrundlampe konnte der Faden der Versuchslampe gegen den Hintergrund zum Verschwinden gebracht werden. Auf diese Weise konnte durch Messung der entsprechenden Stromstärke der Hintergrundlampe die jeweilige Helligkeit des Versuchsfadens relativ bestimmt werden. Mit dieser Anordnung konnte

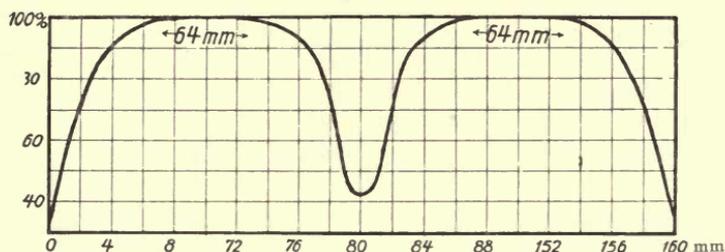


Fig. 85. Diagramm der für die Hintergrundlampen erforderlichen Stromstärken um Intensitätsübereinstimmung mit den aufeinander folgenden Fadenteilen einer 60 Watt, 110 Volt-Wolframlampe zu erhalten.

man somit die relative Helligkeit des Versuchsfadens in allen seinen Teilen bestimmen und in Stromstärken der Hintergrundlampe ausdrücken. Hierbei zeigte es sich, daß der Faden in der Nähe der Zuleitungs- und Halterdrähte wesentlich dunkler leuchtete, und daß diese Abkühlung sich auf eine ungefähr 8 mm lange Strecke geltend machte. Fig. 85 zeigt das Resultat einer solchen Messung bei einer 60 Watt 110 Volt-Wolframlampe, deren Leuchtdraht auf je 80 mm mit einem Halter oder Zuleitungsdraht in Berührung kam. Wir ersehen vor allem hieraus, daß nur 64 mm eines jeden 80 mm langen Fadenschenkels sich auf voller Glut befanden. Durch weitere Messungen konnte auch die relative Verteilung der Energiezufuhr und -Abfuhr, als auch des Lichtstromes auf der ganzen Schenkellänge des Leuchtkörpers bestimmt werden (Fig. 86). Schließlich konnte man daraus die prozentualen Energieverluste und Intensitätsverluste durch den abkühlenden Effekt der Zuleitungs- und Halterdrähte berechnen. Die Werte sind in der folgenden Tabelle aufgestellt und zum Vergleich auch die bei Tantal- und Kohlenfadenslampen gefundenen Werte hinzugezogen:

Lampe	Spannung	Watt pro mittlere horizontale Kerze	Energieverlust in Prozenten	Intensitätsverlust in Prozenten	Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kontakten
Tantal . . .	110	2,0	7	13	33 mm
Kohle . . .	115	3,1	2	4	106 "
Wolfram . . .	110	1,25	4	7	80 "

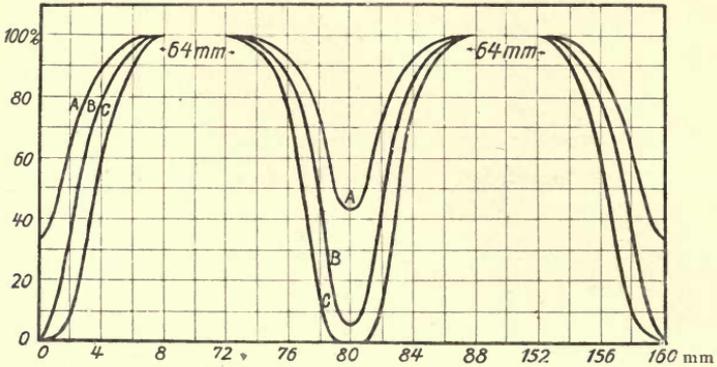


Fig. 86. Kurven, die die Leitungsverluste einer 60 Watt, 110 Volt-Wolframlampe zeigen. *A* Relative Verteilung der Energiezufuhr; *B* Relative Verteilung der Energieabfuhr; *C* Relative Verteilung des Lichtstromes.

Der relativ große Verlust bei der Tantallampe wird durch die kurzen Fadenlängen und die relativ dicken Halterdrähte verursacht.

### Licht, Farbe und Lichtverteilung der Wolframlampen.

Die Farbe des Lichts, welches die Wolframlampe aussendet, ist sehr verschieden vom Tageslicht, da die Temperatur des Leuchtkörpers bei etwa 2000 °C liegt, während das Tageslicht der Strahlung eines festen Körpers bei 5500 °C entspricht. Demgemäß zeigt das Licht der Wolframlampen ein Übermaß an roten und gelben Strahlen und einen Mangel an blauen gegenüber dem Tageslicht. Ein weißer Körper, beim Licht der Wolframlampen betrachtet, erscheint gelb und ein blau gefärbter Gegenstand besitzt eine dunklere Färbung als bei Tageslicht betrachtet. Der Anteil der Farben in Grün und Blau, welchen das von der Wolframlampe ausgestrahlte Licht besitzt, ist wesentlich größer als bei anderen elektrischen Glühlampen. Einen Vergleich gestattet die nachfolgende Tabelle („The Illuminating Engineer“ 1906, S. 875), das Verhältnis ist bei gleichem Gesamtlicht der einzelnen Glühlampen ein folgendes:

	Kohlenfadenlampe	Tantallampe	Wolframlampe
Rot . . . . .	100 0/0	90,5 0/0	85,0 0/0
Grün . . . . .	100 "	100,3 "	101,8 "
Blau . . . . .	100 "	109,2 "	126,5 "

Dieser Vergleich zeigt am besten, welche Überlegenheit die Wolframlampe den anderen elektrischen Glühlampen gegenüber auch bezüglich der Farbe des ausgestrahlten Lichts besitzt. Das Licht der Kohlenfadenlampe erscheint auch tatsächlich rot gegenüber dem weißlichen Licht der Wolframlampe. Dieser Farbenunterschied wird durch die höhere Glut und das selektive Strahlungsvermögen des Wolframleuchtkörpers verursacht. Demgemäß erscheint auch das Licht der Wolframfüllungslampen, deren Leuchtkörper fast um  $150^{\circ}\text{C}$  höher erhitzt wird als in den gewöhnlichen Wolframlampen, noch wesentlich weißer. Mit dem Tageslicht verglichen, erscheint aber das Licht der Wolframlampen entschieden gelb. Das Diagramm, Fig. 87, zeigt z. B. das Verhältnis der Helligkeit einer Wolframlampe und des Tageslichts bei verschiedenen Wellenlängen.

Für viele Zwecke ist es erwünscht, das künstliche Licht dem natürlichen möglichst gleich zu gestalten. Dies läßt sich z. B. dadurch erreichen, daß man das Licht der Wolframlampe mit dem der

Quecksilberbogenlampe, welche einen Überschuß an blauen Strahlen besitzt, kombiniert. Will man aber mit der Wolframlampe allein

ein dem Tageslicht ähnliches Licht erzeugen, so muß man durch Verwendung absorbierender Medien den Überschuß an roten und gelben Strahlen, welche die Wolframlampe aussendet, entfernen. Die National Electric Lamp Association in Cleveland (Ohio) hat sich mit diesem Problem schon seit langem beschäftigt, und es wurden von Herbert E. Ives und seinen Mitarbeitern eine Reihe vorzüglicher Abhandlungen veröffentlicht, in denen die Erzeugung künstlichen Tageslichts durch Subtraktion diskutiert wird („Bulletin Bureau of Standard“, Juny 1909; „Trans. Ill. Eng. Soc.“, März 1910; „Trans. Ill. Eng. Soc.“, Oktober 1911; „Electrical World“, 4. Mai 1911<sup>1)</sup>). H. E. Ives hat die genauen Farbwerte des Tageslichts ermittelt und auf

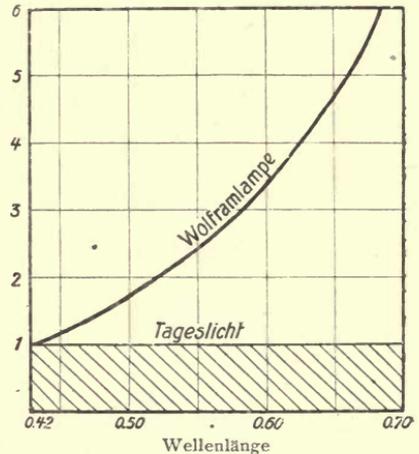


Fig. 87. Verhältnis der Helligkeit einer Wolframlampe und des Tageslichtes bei verschiedenen Wellenlängen.

1) Bei dieser Gelegenheit sei auch auf das ab 1. Januar 1913 herausgegebene und von E. P. Hyde redigierte „Abstract Bulletin of the Physical Laboratory of the National Electric Lamp Association Cleveland“, Ohio, besonders aufmerksam gemacht.

dieser Grundlage das absorbierende Medium berechnet, welches zur Umwandlung des Lichts der Wolframlampe in künstliches Tageslicht erforderlich ist. Es wurden auch entsprechende absorbierende Medien ausfindig gemacht, deren Transmission ungefähr der theoretisch berechneten entsprach, um das Licht der Wolframlampe in „Tageslicht“ zu verwandeln. Die absorbierenden Medien wurden in Form von Schirmen oder Überzügen an den Lampen verwendet. Der Wirkungsgrad der Wolframlampe wird durch solche Schirme stark herabgesetzt, da der größte Teil der gelben und roten Strahlen, welche Strahlen hauptsächlich die Wolframlampe aussendet, absorbiert wird. Die verbleibende Kerzenstärke beträgt kaum noch 15 % der ursprünglichen Helligkeit, und der „Tageslichtwirkungsgrad“ der Wolframlampe entspricht 10 bis 12 Watt pro Kerze. Allerdings ist eine solch weitgehende Absorption nur nötig, wenn man ein fast theoretisches „Tageslicht“ mit der Wolframlampe erzeugen will. Für praktische Zwecke genügt es, wenn die roten und gelben Strahlen in geringerem Maße wegabsorbiert werden, um den Effekt des „Tageslichts“ hervorzurufen. So wurden anlässlich der Sitzungen der National Electric Light Association in Seattle 1912 zur Beleuchtung des Kunstsaaes der öffentlichen Bibliothek, als auch zur Beleuchtung der Straße vor der Bibliothek die normalen Wolframlampen durch gefärbte, entsprechend höherkerzige Lampen ersetzt, welche ganz den Eindruck des Tageslichts erweckten. Bei diesem Licht ließen sich, wie bei natürlichem Tageslicht, alle Farben richtig erkennen. Die Lampen waren mit einem dunkelblauen Farbenüberzug versehen, durch welchen der größte Teil der roten und gelben Strahlen absorbiert und der Energieverbrauch der Lampen auf 4 Watt/HK. erhöht wurde. In letzter Zeit hat auch die Firma Siemens & Halske in Berlin Wolframlampen in den Handel gebracht, die sogen. „Verico“-Lampen, welche bei einem Energieverbrauch von 1,4 Watt/HK. ein dem Tageslicht ähnliches Licht erzeugen. Bisher wurden von der Firma nur 100 Wattlampen zu 70 bis 75 Kerzen fabriziert.

Die Verteilung des Lichts im Raume, welches die Wolframlampen aussenden, entspricht der Anordnung des Leuchtkörpers in der Lampe. Die größte strahlende Oberfläche des Leuchtkörpers ist der horizontalen Richtung zugewendet, weshalb auch die Lichtintensität der Wolframlampe, in der horizontalen Richtung gemessen, am größten erscheint. Die Lampenspitze, gegen welche nur die Spitzen der Leuchtkörperbügel gerichtet sind, strahlt am wenigsten Licht aus. Die Lichtintensität nimmt deshalb im

Raume, von der horizontalen Richtung bis zur senkrechten der unteren Halbkugel gemessen, stetig ab. Fig. 88 stellt die Licht-

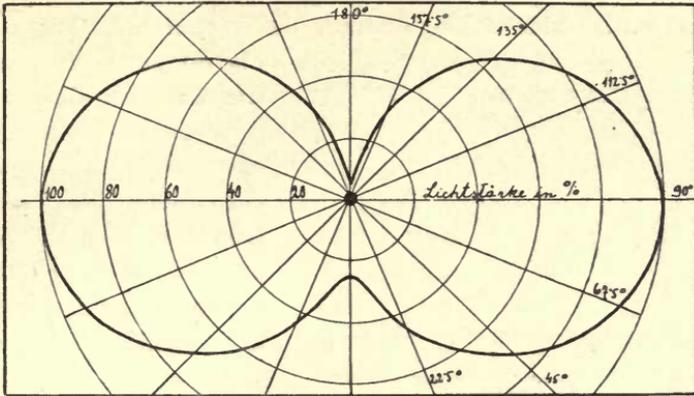


Fig. 88. Lichtemissionskurve der Wolframlampe.

emissionskurve der Wolframlampe vor. Die Lichtverteilung bei einer Wolframlampe stellt sich hiernach entschieden zugunsten der horizontalen Richtung ein.

Bei der Kohlenfadenlampe wird die horizontale Richtung nicht in dem gleichen Maße bevorzugt, da bei dieser Lampe die relativ breiten unteren Teile der Fadenschlingen auch eine recht beträchtliche Lichtausstrahlung in der senkrechten Richtung besorgen. Vergleicht man deshalb die Lichtintensität der Wolframlampe mit der der Kohlenfadenlampe nur der mittleren horizontalen Lichtstärke nach, wie es gewöhnlich geschieht, so geschieht der Vergleich zuungunsten der Kohlenfadenlampe, da diese bei gleicher horizontaler

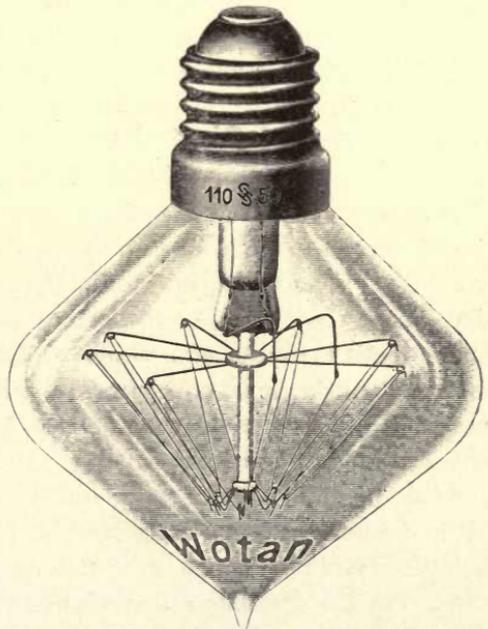


Fig. 89.

Lichtstärke eine größere senkrechte Lichtstärke besitzt als die Wolframlampe. Gerech wäre, wenn die mittlere hemisphärische Lichtintensität der beiden Lampen verglichen würde.

In neuester Zeit werden Wolframlampen gebaut, deren Leuchtkörper in der Weise in der Lampe angebracht ist, daß die Hauptmenge des Lichtes in der Richtung der unteren Halbkugel ausgesendet wird. Eine solche Lampe, die Wotan-Fokuslampe, stellt

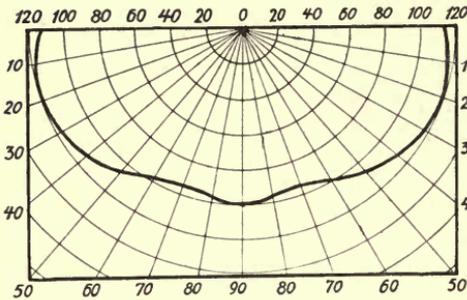


Fig. 90. Lichtemissionskurve der Wotan-Fokuslampe.

Fig. 89 vor. Der Draht ist, wie aus der Figur ersichtlich, auf der Mantelfläche eines Kegels angeordnet. Gleichzeitig ist der am Lampenfuß befindliche Teil der Glocke zu einem Reflektor ausgebildet, welcher alle nach rückwärts geworfenen Strahlen in die gewünschte Richtung nach

unten zurückwirft. (In der Abbildung wurde der Reflektor weggelassen, damit die Innenkonstruktion der Lampe besser sichtbar wird.) Mit dieser Lampe wird ein mittlerer spezifischer Verbrauch von 1,0 Wattkerzen für die untere Hemisphäre erreicht. Die Lampe wird für Spannungen bis 130 Volt und Lichtstärke bis 32 Kerzen gebaut. Die Lichtverteilungskurve einer solchen Lampe stellt die Fig. 90 vor.

### Die Stoßfestigkeit der Wolframlampen.

Die in den ersten Jahren fabrizierten Wolframlampen besaßen eine relativ geringe Stoßfestigkeit. Ja, man mußte sich sogar hüten, die so teuren Lampen abzustauben, da schon dabei oft Fadenbrüche vorkamen. Heute ist die verschriene allzu große Empfindlichkeit der Lampen ein überwundener Standpunkt. Die moderne Wolframlampe besitzt bereits eine Stoßfestigkeit, die allen praktischen Anforderungen durchaus entspricht. Die verschiedenen Firmen brachten bei vielen Gelegenheiten besonders konstruierte Stoßapparate, in denen die Wolframlampen, trotz enorm großer Erschütterungen, sowohl im brennenden wie im nichtbrennenden Zustande ganz bleiben. Auch in der Praxis wurden behufs Prüfung der Stoßfestigkeit der Wolframlampen ausgedehnte Versuche ausgeführt, welche sogar die Überlegenheit der Wolframlampe über die Kohlenfadenlampen bewiesen haben. So wurden von der Interborough Rapid Transit Company (Vereinigte Staaten) Versuche ausgeführt, welche einen direkten Vergleich der Stoßfestigkeit der modernen Glühlampen gestatteten. Es wurden je 100 Stück Wolframlampen, Kohlenfadenlampen und Tantallampen zur Beleuchtung einiger Wagen der

Expreszüge dieser Gesellschaft verwendet. Der sorgfältig durchgeführte Vergleich hat dabei erwiesen, daß bei den Tantalampen der Fadenbruch am schnellsten eintrat, etwas günstiger verhielten sich die Kohlenfadenlampen, das weitaus günstigste Verhalten zeigten aber die Wolframlampen, von denen nach 1000 Stunden Brenndauer noch 65 % sich im besten Zustand befanden. Dieses glänzende Resultat hatte zur Folge, daß die Gesellschaft alle ihre Züge mit Wolframlampen ausstattete. Viele andere Eisenbahngesellschaften und Betriebe, in denen größere Erschütterungen vorkommen, sind zur Einführung der Wolframlampen geschritten. Die Erzielung der großen Stoßfestigkeit der Lampen ist vor allem der Einführung des gezogenen Wolframleuchtkörpers zu verdanken. Sehr wichtig ist aber auch die Art der Halterung des Leuchtkörpers. Die federnde Halterung, durch welche die Stöße aufgefangen werden, verbessert die Stoßfestigkeit der Lampen sehr wesentlich. Die federnde Halterung wird in der einfachsten Weise dadurch erreicht, daß man möglichst dünne, federnde Halter verwendet, welche auch aus mehreren anderen Gründen, wie vorhin besprochen, für die Lampe von Vorteil sind. Als seinerzeit die Bedeutung der federnden Halterung für die Stoßfestigkeit der Lampe erkannt wurde, wurde in einer Reihe von Patenten nicht nur die Federung der Halter selbst, sondern auch der ganzen Traggestelle in der spitzfindigsten Weise erdacht und geschützt. Doch scheint der Wert solcher Erfindungen gering zu sein, da in Wirklichkeit Lampen mit komplizierten federnden Traggestellen niemals eingeführt wurden.

### **Das Flimmern der Wolframlampen.**

Beim Brennen mit Wechselstrom weisen die Glühlampen Lichtschwankungen auf, deren Stärke von der Stromfrequenz und Wärmekapazität des Leuchtkörpers abhängt. Es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß der Leuchtkörper entsprechend dem Spannungsmaximum und -Minimum einer jeden Wechselstromperiode eine maximale und minimale Momentanlichtstärke entwickelt. Dieser Wechsel der Lichtstärke wird beim Betrieb mit Wechselstrom von niedriger Periodenzahl besonders bei Wolframlampen bemerkbar. Es zeigt sich, daß, während eine Kohlenfadenlampe bei 25 Perioden ohne zu flimmern sich ganz gut benutzen läßt, eine 110 Volt 25 Kerzen-Wolframlampe unerträglich flimmert. Eine 40kerzige Lampe flimmert noch bemerkbar, während bei einer 50kerzigen Wolframlampe kein Flimmern mehr bemerkt werden kann. Diese Tatsachen lassen sich damit erklären, daß das Wolfram viel geringere

Wärmekapazität besitzt als die Kohle, und deshalb mit den einzelnen Strompulsationen des Wechselstroms viel größere Lichtschwankungen erleidet. Höherkerzige Wolframlampen besitzen bei gleichen Spannungen dickere Leuchtkörper mit größerer Wärmekapazität und zeigen aus diesem Grunde bei gleicher Periodenzahl geringe Flimmerscheinungen. Merrill hat gefunden, daß es für jede Lampentype eine bestimmte kritische Frequenz gibt, bei welcher das Flimmern auftritt („Proc. A. I. E.“ 1910, S. 1433). Die kritische Frequenz ist eine Funktion der mittleren Beleuchtungsstärke und deren prozentualen Änderung bei den einzelnen Strompulsationen. — Die Lichtschwankungen der Wolframlampen im Wechselstrom können genau mit Hilfe des sogen. Strobophotometers untersucht werden, mit welchem man die Lichtstärke der untersuchten Lampen in jedem

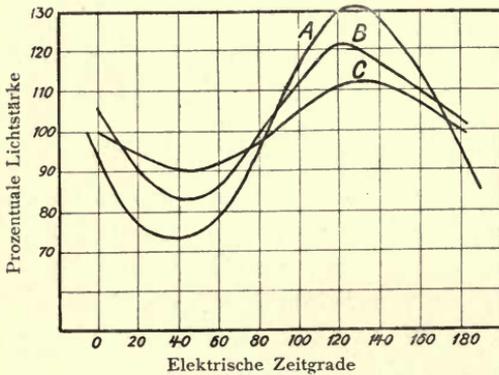


Fig. 91. Prozentische zyklische Variation der Lichtstärken bei Wolframlampen. A = 25 Perioden, B = 50 Perioden, C = 50 Perioden.

Punkt der Phase bestimmen kann. Solche Untersuchungen hat L. W. Wild ausgeführt („Journ. of the Inst. of El. Eng.“, Bd. 49, S. 314 [1912]). Es wurden bei Lampen verschiedener Spannung und Kerzenzahl die maximalen und minimalen Momentanwerte ihrer Lichtstärken beim Betrieb mit Wechselstrom von 25 Perioden gemessen. Bei einer

0,1 Amp.-Lampe beträgt die maximale Momentanlichtstärke das 1,58 fache, bei einer 0,65 Amp.-Lampe das 1,11 fache der mittleren Momentanlichtstärke. Die 0,1 Amp.-Lampe ergab bei 50 Perioden maximal das 1,30 fache, minimal 0,71 fache der Momentanlichtstärke, welche Schwankungen etwa die Hälfte der Schwankungen bei Wechselstrom mit 25 Perioden betragen. Fig. 91 zeigt die prozentuale zyklische Variation der Lichtstärke einer 25 Watt 114 Volt-Wolframlampe bei verschiedenen Frequenzen des die Lampe speisenden Wechselstromes („Zeitschr. f. Bel.“ 1911, S. 368; siehe auch „Zeitschr. f. Bel.“ 1911, S. 439, Evan I. Edwards).

L. W. Wild konnte noch eine bemerkenswerte Tatsache feststellen. Es zeigte sich, daß die mittlere horizontale Lichtstärke der Wolframlampen trotz gleicher effektiver Betriebsspannung verschieden groß ist, je nachdem die Lampe mit Gleichstrom oder Wechselstrom

verschiedener Frequenz betrieben wird. Eine 0,1 Amp.-Lampe zeigte beispielsweise bei 50 Perioden Wechselstrom 0,7 0/0, bei 25 Perioden 2,5 0/0 mehr Licht als bei Gleichstrom. Beim Vergleich des Verhaltens der Glühlampen im Gleichstrom und Wechselstrom muß deshalb dieser Umstand immer auch berücksichtigt werden.

### Die Wirtschaftlichkeit im Betrieb und der Preis der Wolframlampen.

Infolge des geringen Energieverbrauchs ist die Wolframlampe die wirtschaftlichste Glühlampe, die wir heute besitzen. Je höher an einem Orte die Strompreise sind, um so dringender empfiehlt sich die Einführung der Wolframlampen, da man dadurch sehr wesentliche Ersparnisse erzielen kann. Nachfolgende Tabelle enthält eine Rentabilitätsberechnung, aus welcher man die bei verschiedenen Strompreisen durch Verwendung einer Wolframlampe an Stelle einer Kohlenfadenlampe zu erzielenden Ersparnisse entnehmen kann<sup>1)</sup>:

Rentabilitätsberechnung (25 kerzige Lampe, 110 Volt).

Strompreis pro KW.-Std. in Pf.		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Kohlenfadenlampe	Stromverbrauch in 1000 Stunden } . . Mk.	8,—	12,—	16,—	20,—	24,—	28,—	32,—	36,—	40,—	44,—
	Lampenverbrauch in 1000 Stunden } . . "	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
	Summa: Mk.	9,14	13,14	17,14	21,14	25,14	29,14	33,14	37,14	41,14	45,14
Wolframlampe	Stromverbrauch in 1000 Stunden } . . Mk.	2,75	4,12	5,50	6,87	8,25	9,63	11,—	12,37	13,74	15,11
	Lampenverbrauch in 1000 Stunden } . . "	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
	Summa: Mk.	4,45	5,82	7,20	8,57	9,95	11,33	12,70	14,07	15,44	16,81
Ersparnis p. Lampe in 1000 Std. Mk.		4,69	7,32	9,94	12,57	15,19	17,81	20,44	23,07	25,70	28,33

Bei vorstehender Berechnung sind folgende Daten zugrunde gelegt:

	Wolframlampe	Kohlenfadenlampe
Preis der Lampe . . . . .	1,50 Mk.	0,50 Mk.
Steuer . . . . .	0,20 "	0,30 "
Energieverbrauch für 25 Kerzen . . . . .	27,5 Watt	80 Watt
Nutzbrenndauer . . . . .	1000 Stunden	700 Stunden

Wir sehen, daß schon mit einer einzigen 25 Kerzen-Wolframlampe ganz beträchtliche Ersparnisse zu erzielen sind. Die Wolframlampe hat infolge ihrer Wirtschaftlichkeit außerordentlich viel zur

1) Entnommen dem Buche: Die Metalldrahtlampe, eine technisch-wirtschaftliche Studie, von Dr.-Ing. Otto Vent.

Verbreitung der elektrischen Beleuchtung beigetragen. In vielen Fällen konnten sogar die Wolframlampen die Gasbeleuchtung verdrängen. Zurzeit herrscht ein heftiger Kampf zwischen beiden Beleuchtungsarten, und die Gasindustrie sucht fortwährend durch Verbesserung der Gasbrenner die Wirtschaftlichkeit der Gasbeleuchtung zu steigern, damit sich diese gegen die Wolframlampe behaupten kann. Die Petroleumbeleuchtung hat sich längst als viel unökonomischer als die elektrische Beleuchtung mit Wolframlampen erwiesen. Dr. Berthold Monasch, welcher nach dieser Richtung sehr genaue Untersuchungen angestellt hat, findet folgendes („ETZ.“ 1912, S. 739):

Lichtquelle	Betriebskosten in Pfennigen bei 100 Stunden pro 1 Lux und 1 qm beleuchtete Fläche	Ueberlegenheit der elektrischen Glühlampen in Prozenten
14 <sup>1/4</sup> Petroleumlampe mit Glocke . . . . .	1,62	—
Wolframlampe mit Klarglasbirne . . . . .	0,78	— 107,0
„ „ matter Birne . . . . .	1,12	— 44,6

Hierbei wurden für 1 Liter Petroleum 20 Pf., für 1 KW.-Stunde 45 Pf. als Preis zugrunde gelegt. Die Petroleumbeleuchtung stellt sich hiernach unter Umständen doppelt so teuer wie die elektrische Beleuchtung mit Wolframlampen. Mit Recht sagt deshalb H. Remané, daß „die Petroleumlampe nicht die Beleuchtung des armen Mannes, wie man uns zu glauben lehrt, sondern eigentlich die des reichen Mannes darstellt“.

Auch mit den Bogenlampen haben Wolframlampen einen erfolgreichen Kampf aufgenommen. Die Wolframfüllungslampe und seit neuester Zeit die Halbwatt-Stickstoff-Wolframlampe macht auch den modernsten Sparbogenlampen das ganze Gebiet unter 3000 HK. mit Erfolg streitig. Die Vorteile, welche die Wolframlampe gegenüber den Bogenlampen besitzt, sind sehr verschiedener Art; als solche wäre vor allem das Entfallen der Kosten für die Bedienung und Kohleersatz, günstigere Lichtverteilung und das ruhige, gleichmäßige Licht der Wolframlampen gegenüber der flackernden Bogenlampe zu nennen.

Sehr interessante Betrachtungen über die Frage der günstigsten Beanspruchung und zulässigen Lichtabnahme von Wolframlampen stellt Dr.-Ing. L. Bloch an („ETZ.“ 1912, S. 791). Es ist eine wichtige Frage, ob bei den üblichen Strom- und Lampenpreisen die Beanspruchung der Glühlampen wirtschaftlich die günstigste ist, oder ob die bei stärkerer Belastung sich eventuell ergebende Strom-

ersparnis die Vergrößerung der Lampenersatzkosten nicht weitaus übertrifft. Durch Berücksichtigung der durch Stromverbrauch und Lampenersatz sich ergebenden Betriebskosten sowie der günstigsten Lichtabnahme und Brenndauer gelangt Dr. Bloch zu einer Gleichung, mit deren Hilfe bei jeweiligen Strom- und Lampenpreisen die günstigste Beanspruchung, bei welcher sich die Betriebskosten am niedrigsten stellen, ermittelt werden konnte. Tabelle 1 bis 3 zeigen die Werte für die günstigste Beanspruchung in Watt pro Hefnerkerze einer 10, 25 und 100 HK.-Lampe bei verschiedenen Strom- und Lampenpreisen, welche auf diese Weise berechnet wurden.

1. Günstigste Beanspruchung in Watt pro Hefnerkerze für 10 HK.-Wolframlampen.

Strompreis in Pfennigen		2	5	10	20	30	40	50	60
Lampenpreis in Pfennigen	50	1,39	1,22	1,10	1,00	0,94	0,91	0,88	0,86
	100	1,53	1,34	1,22	1,10	1,04	1,00	0,97	0,94
	150	1,62	1,42	1,29	1,17	1,10	1,06	1,03	1,00
	200	1,69	1,48	1,35	1,22	1,15	1,10	1,07	1,04

2. Günstigste Beanspruchung in Watt pro Hefnerkerze für 25 Kerzen-Wolframlampen.

Strompreis in Pfennigen		2	5	10	20	30	40	50	60
Lampenpreis in Pfennigen	50	1,22	1,07	0,97	0,88	0,83	0,80	0,77	0,75
	100	1,34	1,18	1,07	0,97	0,91	0,88	0,85	0,83
	150	1,42	1,25	1,13	1,03	0,97	0,93	0,90	0,88
	200	1,48	1,30	1,18	1,07	1,01	0,97	0,94	0,92

3. Günstigste Beanspruchung für 100 HK.-Wolframlampen in Watt pro Hefnerkerze.

Strompreis in Pfennigen		2	5	10	20	30	40	50	60
Lampenpreis in Pfennigen	50	1,10	0,97	0,88	0,80	0,75	0,72	0,70	0,68
	100	1,17	1,03	0,93	0,84	0,80	0,77	0,74	0,72
	150	1,22	1,07	0,97	0,88	0,83	0,80	0,77	0,75
	200	1,26	1,10	1,00	0,91	0,86	0,82	0,80	0,78

Aus diesen Tabellen ersieht man, daß mit steigenden Strompreisen und sinkenden Lampenpreisen es günstiger wird, die Lampen stärker zu beanspruchen. Bei den gewöhnlichen Strom- und Lampenpreisen entspricht die heute übliche Belastung von 1 bis 1,1 Watt/HK. für Lampen von 10 bis 25 HK. ungefähr der günstigsten Beanspruchung. Für 100kerzige Lampen liegt die günstigste Beanspruchung bei den meist gebräuchlichen Strom- und Lampenpreisen nach der Tabelle ungefähr bei 0,80 Watt/HK. Belastung. Es würde sich deshalb empfehlen, die höherkerzigen Lampen höher als heute üblich

zu belasten. Die absolut günstigste Lichtabnahme, das ist jene Lichtabnahme der Lampen in Prozenten der Anfangslichtstärke, nach welcher es am günstigsten ist, die Lampe durch eine neue zu ersetzen, beläuft sich nach Bloch auf etwa 25 % der Anfangslichtstärke, ist also etwas größer als der bisher für die Nutzbrenndauer festgesetzte Wert von 20 %. Die absolut günstigste Lichtabnahme, welche für die Nutzbrenndauer der Wolframlampen bestimmend ist, richtet sich lediglich danach, mit welcher Potenz die Brenndauer der Wolframlampen von der Beanspruchung abhängt. Die Untersuchung einer großen Zahl von Lampen ergab, daß die Nutzbrenndauer der Wolframlampen mit der sechsten Potenz der Beanspruchung sich verändert (siehe auch Fig. 83). Betrachtet man die Tabellen der Rentabilitätsberechnung und Betriebskosten der Wolframlampen, so fällt es auf, daß der Preis der Wolframlampen selbst keine besondere Rolle für deren Wirtschaftlichkeit spielt. Die Stromkosten während der ganzen Lebensdauer übertreffen den Preis der Lampe, insbesondere der höherkerzigen Lampe, um das Vielfache. Trotzdem hat die sehr wesentliche Verbilligung der Wolframlampen im Laufe der Jahre auch viel zu deren Verbreitung beigetragen. Nachfolgende Tabelle zeigt die Preisbewegung der verschiedenen Wolframlampen.

Preisbewegung der Wolframlampen.

Spannung Volt	Type H.K.	1906 Mk.	1907 Mk.	1908 Mk.	1909 Mk.	1910 Mk.	1911 Mk.	1912 Mk.	1913 Mk.
110	16	—	—	—	2,—	2,—	1,50	1,50	1,10
	25	—	3,—	3,—	3,—	2,—	1,50	1,50	1,10
	32	—	3,—	3,—	3,—	2,—	1,50	1,50	1,10
	40	4,—	3,25	3,—	3,—	—	—	—	—
	50	—	3,25	3,—	3,—	2,—	1,50	1,50	1,10
	100	—	5,50	5,50	4,50	4,50	3,50	3,50	2,50
	200	—	—	9,—	9,—	9,—	7,50	7,50	5,50
	300	—	—	12,—	12,—	12,—	10,50	—	—
	400	—	—	15,—	15,—	15,—	12,—	12	9,—
	600	—	—	—	—	17,50	14,—	14	10,—
1000	—	—	—	—	—	20,—	15	15,—	
220	16	—	—	—	—	—	—	2,50	1,75
	25	—	—	—	3,50	3,50	2,50	2,50	1,75
	32	—	—	—	3,50	3,50	2,50	2,50	1,75
	40	—	—	5,—	3,50	—	—	—	—
	50	—	5,—	5,—	3,50	3,—	2,50	2,50	1,75
	100	—	7,—	6,—	4,50	4,50	3,50	3,50	2,50
	200	—	—	9,—	9,—	9,—	7,50	7,50	5,50
	300	—	—	12,—	12,—	12,—	10,50	—	—
	400	—	—	15,—	15,—	15,—	12,—	12	9,—
	600	—	—	—	—	17,50	14,—	14	10,—
1000	—	—	—	—	—	20,—	20	15,—	

Die wesentliche Verbilligung im Laufe der letzten Jahre wurde vor allem durch die außerordentliche Vereinfachung der Fabrikation der Lampen verursacht. Hierbei sind die modernen Glühlampen, was Qualität betrifft, den früher erzeugten nach jeder Richtung weitaus überlegen. Vom wirtschaftlichen Standpunkt betrachtet wäre es vor allem wünschenswert, daß die Lichtausbeute, welche sich heute mit der Wolframlampe erzielen läßt, durch Verbesserung der Lampen noch weiter vergrößert wird, welcher Wunsch, bei der rastlosen Erfindearbeit auf diesem Gebiete, wohl sicher in naher Zukunft in Erfüllung gehen dürfte.

---



## Autorenverzeichnis.

- Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft,  
A.-G. 76. 117. 128. 131. 138. 153.  
155. 156.  
Auer von Welsbach 3. 12. 19f. 57.
- B**astian, Charles Orme 107.  
Baum, M. 106.  
Bergmann - Elektrizitätsgesellschaft  
62. 77. 110.  
Berliner 148.  
Berzelius 14.  
Blau, Dr. Fritz 25. 54.  
Bloch, Dr.-Ing. L. 169. 182.  
Bolton, Werner von 3. 13.  
Breßler, Harry und Ulrich 86.  
British Thomson Houston 62. 64.  
74.  
Buisson, H. 166.  
Burgstaller, Siegfried 86. 89.  
Buxbaum, Dr. S. 116.
- C**ady, F. E. 170. 172.  
Calvert, G. 107.  
Changy, de 2. 149.  
Coblentz, W. W. 162.  
Coolidge, W. D. 50.
- D**ayton, W. H. 68.  
Dechent, von 119.  
Delépine 31.  
Deutsche Gasglühlicht-A.-G. (Auer-  
gesellschaft) 3. 26. 27. 39. 44. 77.  
112. 113. 153. 168.  
Drysdale 166.
- E**dison 2. 11. 149.  
Edwards, Evan J. 180.  
Eisner, Dr. F. 48.  
Eldred, Byron E. 106.  
Elektro-Sparlicht-G. m. b. H. 110.  
Elster und Geitel 148.
- F**abry, Ch. 166.  
Fahie, J. J. 85.
- Felten - Guilleaume - Lahmeyerwerke  
128. 151.  
Fink, C. G. 33. 34.  
Fleming 144.
- G**aede, Dr. 119f.  
General Electric Company 2. 4. 62ff.  
155.  
Gethe, Heinrich 131.  
Grove 1.
- H**aber, F. 146.  
Hallopeau, L. A. 32.  
Hammer 119.  
Heinrich, Wilhelm 48.  
Hensel & Schuhmann 92.  
Hirschauer 162.  
Hollefreund, Dr. 47.  
Hurwitz, Eugen 113.  
Hyde, A. Ch. 107.  
Hyde, E. P. 172. 175.
- I**patiew, Wl. 44.  
Ives, Herbert E. 175.
- J**ackson 36.  
Jahoda, Dr. Rudolf 89.  
Jobard, V. 2.  
Just (und Haber) 146.  
Just, Dr. Alexander (und Hanaman)  
3. 37. 47. 59.
- K**eil 171.  
King, A. 2.  
Kinsloe, Charles Lambert 139.  
Kirchhoff 6.  
Klemensiewicz, Z. 148.  
Köppe, Gebrüder 41. 45. 103. 117.  
125. 134.  
Krause, Otto 80. 138.  
Krause, R. & Co. 92.  
Kremenetzky, J. 75. 99.  
Kurlbaum, F. 9.

Kuschenitz, F. 61.  
Kuzel, Dr. Hans 4. 31. 48ff. 58.

Langellier 70.  
Langhans, Rudolf 106.  
Lederer, Anton 151. 154. 171.  
Leimbach 165.  
Leiser, Dr. Heinrich 37. 48. 89.  
Leybolds Nachfolger 119. 126.  
Lichtwerke, G. m. b. H. 56.  
Loose, Arno 70.  
Loring 17. 161.  
Lummer, Otto 5. 9.  
Lux, Johann 47. 48. 89.

Majert, Dr. 46.  
Malignani, Arturo 129.  
Marietti, Silvio 112.  
Mathies 147.  
Merril 180.  
Meyer, Alfr. R. 161.  
Moleyn, Frederic de 1.  
Moissan 11. 57.  
Monasch, Dr. B. 182.  
Müller, Dr. J. 116.  
Müller, Dr. N. L. 82.

National Electric Lamp Association  
175.  
Nernst, W. 3.

Österreichische Gasglühlicht- und  
Elektrizitätsgesellschaft 27.

Pacz, Aládar Dr. 46. 77.  
Palmer, Robert 66.  
Philips 153.  
Pintsch, Julius, A.-G. 75. 115.  
Pirani, Dr. M. von 16. 33. 161.  
Plechati, Glühlampenfabrik 107.  
Preece 144.  
Prigge 41.

Reduktor-Elektrizitätsgesellschaft m.  
b. H. 98.  
Remané, H. 138. 182.  
Richards 36.  
Richardson 144.

Ruff, Dr. Otto 33. 65. 67.  
Rußner 165.

Schäffer, Walter 113.  
Scharp, Clayton H. 163.  
Schilling, Dr. Joh. 48.  
Schmidmer, Dr., & Co. 93ff.  
Schott & Gen. 107.  
Schwab, Karl 129. 138.  
Schwarzkopf, Dr. Paul 86. 89.  
Siemens & Halske 3. 13. 58. 59. 110  
114. 153ff. 176.  
Skaupy, Dr. Franz 151. 153.  
Società Edison per la Fabr. d. Lam-  
pade Ing. C. Clerici & Co. 107.  
Soddy, Frederic 131.  
Staite, I. W. 2. 85.  
Stark, Johannes 136.  
Starr, I. W. 2.  
Stewart 148.  
Swan, K. R. 107.

Tamman, G. 84.  
Thenard 1.  
Thompson, Silvanus P. 119.  
Thomson, J. J. 143. 151.

Vent, Otto, Dr.-Ing. 181.  
Vereinigte Glühlampen- und Elek-  
trizitäts-A.-G. 51. 53. 89.  
Voigtländer, Otto 89.

Wartenberg, von 33. 161.  
Watt, Elektrische Glühlampenfabrik  
89. 116.  
Weber, H. 119.  
Wehnelt, A. 147.  
Weiß, Dr. L. 175.  
Westinghouse Metal-Filament Lamp  
Co. Ltd. 54.  
Westinghouse Metallfaden-Glüh-  
lampenfabrik 88. 137. 167.  
Wild, L. W. 180.  
Wilson, H. A. 146.  
Wolfram-Lampen-A.-G. 32. 47. 131.  
Worthing-A.-G. 172.

## Sachverzeichnis.

- Abkühlung der Leuchtdrahtenden 110.  
Abstechen der Glühlampen 127.  
Ätzmittel für Wolframdraht 74. 80.  
Anlassen der Metalle 60. 85.  
Anschweißen des Wolframleucht-  
körpers 112.  
Anspitzen der Wolframdrähte 74.  
Aquadag 76.
- Bariumchlorat** 154.  
Beanspruchung, die günstigste 182ff.  
Beschlagfänger für Füllungslampen 152.  
Blauer Schein 130.  
Blechhalter in Wolframlampen 110.  
Bleijodid 153.  
Branzilit 12.  
Brenndauerversuche 167.
- Columbit** 12.  
Cyanformierung 44.
- Diamantbohren** 91.  
Diamantpolieren 92.  
Diamantpoliermaschinen 92ff.  
Diamantpreßdüse 93.  
Diamantziehdüse 93.  
Diamantschleifdraht 94ff.  
Diamantstauböl 91.  
Diamantziehsteinfabrikation 90.  
Diamantziehsteine, Verhalten beim Ziehen 79. 90.  
Duktilisierung des Iridiums 2. 85.  
— — Wolframs 62ff.  
Duktilität, Ursachen der 61. 82ff.  
Dünnermachen des Wolframdrahtes 80.  
Durchschmelzstromstärke 66.
- Edison-effekt** 145.  
Egalisierung der Wolframfäden 39.  
Einschmelzen der Glühlampen 117.
- Elektrisches Äquivalent des Lichtes 166.  
Elektromagnetische Kräfte, Wirkung auf Rekristallisationserscheinungen 136.  
Elektronegative Gase, Wirkung auf Vakuumströme 147.  
Elektronenemission von glühenden Metallen 143.  
— — — Oxyden 147.  
Empfindlichkeit des Auges für verschiedene Lichtstrahlen 6.  
Energieanteil der sichtbaren Strahlung 8.  
Energienmaximum der Strahlung 5.  
Entlüften der Lampen 118ff.  
Erdmagnetismus, Einfluß bei der Formierung 46.
- Fadenpresse** 41.  
Ferberit 27.  
Flächenhelle von Wolframdraht 161.  
— — Glühlampenfäden 161.  
Flimmern 179.  
Formierapparat 45.  
— für Wolframstäbe 65.  
Formierautomaten 54.  
Formiergas 43. 66.  
Formierung der Wolframfäden 43ff.  
Formiertemperatur der Wolframstäbe 66.  
Füllungslampen 151ff.  
Fußchenquetschen 103ff.  
Fußchenquetschmaschine 104.
- Gaede-Kapselluftpumpe** 121.  
Gaede-Molekularluftpumpe 119.  
Gaede-Quecksilberpumpe 118.  
Gallusgerbsäure-Wolframspritzverfahren 46.  
Gasdruck in Glühlampen 141.  
Gesamtstrahlung 5.  
Gefügeänderung der Metalle 84. 136.  
Gesetz von der Emission und Absorption des Lichtes 6.

- Gesetz von Maxwell 119.  
 — — Stefan-Boltzmann 5.  
 Gleichstromformierung 46.  
 Goldschmidtsches Verfahren 31.  
 Graphitschmiere 77.
- Halbwatt-Wolframlampe** 155 ff.  
**Halogenfüllungslampen** 151.  
**Halter aus Molybdändraht** 109.  
**Halterung, federnde** 109. 179.  
**Halter für Wolframleuchtkörper** 108 ff.  
**Hämmermaschine** 68.  
**Hämmern der Wolframstäbe** 71.  
**Helligkeit, Zunahme mit der Temperatur** 9.  
**Hochspannungsentladungen, Pumpen durch** 131.  
**Hochvoltfüllungslampen** 154.  
**Hübnerit** 27.  
**Hydrazin** 48.
- Ilseemannit** 35.  
**Iridium** 2.  
**Iridiumdrahtlampe** 2. 85.
- Kohlenfadenlampe** 2.  
**Kohlenfaden, metallisierter** 10.  
**Kolbenabziehen** 117.  
**Kolloidale Wolframsäure als Bindemittel** 48.  
**Konstantanhalter** 113.  
**Konstante der Wolframlampen** 169 f.  
 — — der Nitalampe 159.  
**Kristallisation des amorphen Wolframs** 89.
- Lebensdauer der Wolframlampen** 164.  
**Lebensgeschichte der Wolframlampen** 167 ff.  
**Lichtabnahme, günstigste zulässige** 182.  
**Lichtbogenschweißapparat** 111.  
**Lichteffekt** 165.  
**Lichtemissionskurve der Wolframlampe** 177.  
**Lichtfarbe der Glühlampen** 174.  
 — — Wolframlampen 174 ff.  
**Lichtverteilung der Wolframlampen** 176.
- Lithiumstickstoff** 151.  
**Lochmaschine** 117.  
**Lumineszenzlampen** 11.
- Massenformierung von Wolframfäden** 54.  
**Messapparat für Wolframdrähte** 111.  
**Messung der Wolframdrähte** 111.  
**Metalle, mechanische Behandlung der** 57.  
 —, Rekristallisation der 135 f.  
 —, Warmbehandlung der 84 f.  
**Methan** 44.  
**Molekularluftpumpe** 119 ff.  
**Molybdän** 35.  
**Molybdänerze** 35.  
**Molybdänmineralien** 35.  
**Molybdänsäure** 35.  
**Molybdänmetall** 36.  
**Molybdänfäden** 56.  
**Moorelicht** 11.
- Neonlampe** 11.  
**Nernstlampe** 3.  
**Nickeleisenlegierung** 105.  
**Nickelwolfram** 59.  
**Nickelwolframziehverfahren** 59 ff.  
**Niobit** 12.  
**Nippelreduktor** 100.  
**Nitalampe** 158.  
**Normallampe** 132.  
**Nutzbrenndauer der Wolframlampe** 162 f.
- Ölpumpen** 118.  
**Osmium** 19.  
**Osmiumformierapparat** 21.  
**Osmiumfundstätten** 19.  
**Osmiumgewinnung** 19.  
**Osmiumkohleverfahren** 20 f.  
**Osmiumlampen** 19 ff.  
**Osmiumlampe, Bau** 24.  
 —, Eigenschaften 25 f.  
 —, Regenerierung 27.  
**Osmiumlegierungen** 22.  
**Osmiumlegierungsverfahren** 20.  
**Osmiumtetroxyd** 19.  
**Osmiumzement** 24.  
**Osramlampe** 167.  
**Oxydosmiumfäden** 23.

- Palladiumasbest 32.  
 Phospham 47.  
 Phosphorpumpverfahren 129.  
 Photometer 132.  
 Photometrieren 132. 160.  
 Platindrahtglühlampe 1.  
 Platinersatz 105 ff.  
 Platinide 107.  
 Platin, Strahlungsvermögen 8.  
 Positiver Effekt 148.  
 Powellit 35.  
 Preise der Wolframlampen 184.  
 Preßform für Wolframstäbe 65.  
 Pressen der Wolframstäbe 65.  
 Pumpen der Wolframlampen 127 ff.  
 Pumpkasten 125 f.
- Quecksilberkadmiumlampe 11.**  
 Quecksilberlampe 11.  
 Quecksilberpumpen 118.
- Reduktoren 100.**  
 Rentabilitätsberechnung 181.
- Sättigungsstrom 143.  
 Sauerstoff, Einfluß auf die Zerstäubung 150.  
 Sauerstofffüllungslampe 154.  
 Scheelit 27.  
 Schmidmer-Poliermaschine 94 f.  
 Schmiermittel für das Wolframziehen 76 ff.  
 Schnelldrehstahl 29.  
 Schwarzer Körper 6.  
 — —, Strahlungsvermögen 7.  
 Schwingende Elektrolyse 13.  
 Selektive Strahler 7. 10.  
 —, Strahlung der Metalle 7.  
 Selbstregulierung bei Spannungsschwankungen 162 f.  
 Sinterung des Wolframs 66. 86 f.  
 Sockelkitt 134.  
 Sockelkittmaschine 133 f.  
 Spezifischer Effektverbrauch der Glühlampen 164.  
 Spiraldrahtlampe 157.  
 Stolzit 27.  
 Stoßfestigkeit der Glühlampen 178.  
 Stoßionisation 146.
- Strahlen, ultraviolette, ultrarote 8.  
 Strobophotometer 180.  
 Substitutionsverfahren 37 ff.  
 Swaging machine 68.
- Tageslicht 174.**  
 Tageslicht, künstliches 176.  
 Tageslichtwirkungsgrad 176.  
 Tantal 3.  
 Tantalblech - Wechselstromumformer 15.  
 Tantal, Darstellung im Vakuumlichtbogenofen 13.  
 Tantalzerze 12.  
 Tantalit 12.  
 Tantallampe 12 ff.  
 Tantalampe, Eigenschaften 15 ff.  
 Tantalampengestell 15.  
 Tantalleuchtkörper, Veränderung im Betrieb 17.  
 Tantalmetall, Eigenschaften 14.  
 Tantaloxycyd 13.  
 —, Zersetzungsspannung der 13.  
 Tellerdrehmaschine 103.  
 Temperatur der Sonne 6.  
 Temperatur des Wolframkörpers bei verschiedenen Belastungen 161.  
 Temperaturkoeffizient d. elektrischen Leitfähigkeit des Wolframs 162.  
 Temperaturstrahlung 4 ff.  
 Teslatransformator 132.  
 Thallo - Thallchlorid 152.  
 Thoriumdioxydhalter 24. 109.  
 Tital 107.  
 Tragegestelle, federnde 179.  
 Tragegestelle für Wolframleuchtkörper 108.  
 Tungstit 27.
- Vakuuwerscheinungen in Glühlampen 141 ff.**  
 Vakuum in Glühlampen 128 ff.  
 Vakuumkurzschluß 141. 146. 147.  
 Vakuumkurzschluß in Füllungs-lampen 154.  
 Vakuumlichtbogenofen 58.  
 Vakuummesser nach McLeod 127.  
 Vakuumprüfung 132.  
 Vakuumströme 142 ff.

- Vericolampe 176.  
 Verjüngen der Leuchtdrahtenden 110.  
 Verseilen der Nickelwolframdrähte 61.  
 Vertexlampe 167.  
 Vorbrennen der Glühlampen 133.  
 Wachsen der Wolframkristalle 86.  
 Warmbehandlung von Wolframmetall 62 ff.  
 Wärmeleitung in Glühlampen 172 ff.  
 Wärmeverluste durch Konvektion 156 f.  
 Wärmestrahlen 5.  
 Wasserblei 35.  
 Wasserdampf, Einfluß auf die Zerstäubung 156.  
 Wasserdampfformierprozeß 43.  
 Wechselstromeffekt 137.  
 Wechselstromfrequenz, Einfluß der 140.  
 Wechselstromwellen, Einfluß der Form der 119.  
 Wehneltkathode 24.  
 Wickelverfahren für Wolframdraht 114 ff.  
 Winkeldrähte 110.  
 Wolfram-Amalgamverfahren 50 ff.  
 Wolfram - Antimonsinterungsverfahren 62.  
 Wolframduktilisierung 4. 52. 63 ff.  
 Wolframhilfsmetallziehverfahren 58 ff.  
 Wolframkolloidverfahren 48 ff.  
 Wolfram, Legierungsfähigkeit mit Metallen 112 f.  
 Wolframnickelverfahren 59 f.  
 Wolfram, Sinterung unter Druck 88.  
 Wolframspritzverfahren mit anorganischen Bindemitteln 48.  
 — — organischen Bindemitteln 40.  
 Wolframthoriumdioxidverfahren 51.  
 Wolframthoriumlegierung 52.  
 Wolfram, Warmziehen von 52.  
 Wolframziehverfahren 57 ff.  
 Wolframerze 27 ff.  
 Wolframdrähte, biegsame nach dem Spritzverfahren 51.  
 —, gezogene, als Leuchtkörper 169.  
 —, röhrenförmige 39. 45 f.  
 —, Veränderung im Betrieb 134 ff.  
 Wolframfüllungslampen 151.  
 Wolframlampen, Nutzbrenndauer 166 ff.  
 —, Nutzeffekt 164 f.  
 —, spez. Effektverbrauch 164.  
 — -Typen 96.  
 —, Wirtschaftlichkeit im Betriebe 181.  
 Wolframmetall, chemische Eigenschaften 34.  
 —, physikalische Eigenschaften 33 f.  
 —, Darstellung 30 f.  
 —, elektrolytische Darstellung 32.  
 —, selektive Strahlung 162.  
 Wolframmineralien 27.  
 Wolframit 27.  
 Wolframocker 27.  
 Wolframoxychlorid 37 ff.  
 Wolframsäure, Darstellung aus den Erzen 29.  
 —, Reduktion zu Metall 30.  
 Wolframsäureglyzerinester 46.  
 Wolframsäurehydrat 30.  
 Wolframtrioxyd 30.  
 Wotanlampe 60.  
 Wotanfokuslampe 178.  
 Wulfenit 33.  
 Ytrotantalit 12.  
 Zerstäubung der Leuchtkörper 9. 140. 155 ff.  
 Zündstrom 163 f.

### **Nachtrag zu Seite 151.**

Die egalisierende Wirkung der Halogengase scheint, entgegen den Angaben von Dr. Skaupy, tatsächlich zu bestehen.

Dieser Umstand ist patentrechtlich für die Halogenfüllungs-Hochkerzenlampen von großer Wichtigkeit, da damit die Erklärung der günstigen Wirkung der Halogengasfüllung, welche Lederer in dem D. R. P. 181967 gegeben hat, zu Recht besteht, wodurch um so mehr das erwähnte Patent als neuheitsschädlich für alle späteren Halogenfüllungspatente zu betrachten ist.

---

### **Berichtigungen.**

Auf Seite 131, Zeile 28, ist D. R. P. 179526 statt 191788 zu setzen.

Im Sachregister ist bei „Wolfram, Warmziehen von“ S. 72 statt S. 52 zu setzen.

---







YD 04188

429964

TK4351  
M8

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

