



Die „**Sammlung Vieweg**“ hat sich die Aufgabe gestellt, Wissens- und Forschungsgebiete, Theorien, chemisch-technische Verfahren usw., die im Stadium der Entwicklung stehen, durch zusammenfassende Behandlung unter Beifügung der wichtigsten Literaturangaben weiteren Kreisen bekanntzumachen und ihren **augenblicklichen Entwicklungsstand zu beleuchten**. Sie will dadurch die Orientierung erleichtern und die Richtung zu zeigen suchen, welche die weitere Forschung einzuschlagen hat.

Als Herausgeber der einzelnen Gebiete, auf welche sich die Sammlung Vieweg zunächst erstreckt, sind tätig, und zwar für:

- Physik** (theoretische und praktische, und mathematische Probleme):
Herr Geh. Reg.-Rat Prof. Dr., Dr.-Ing. E. h. **Karl Scheel**, Physikal.-Techn. Reichsanstalt, Charlottenburg;
- Chemie** (Allgemeine, Organische und Anorganische Chemie, Physikal. Chemie, Elektrochemie, Technische Chemie, Chemie in ihrer Anwendung auf Künste und Gewerbe, Photochemie, Metallurgie, Bergbau):
Herr Prof. Dr. **B. Neumann**, Techn. Hochschule Breslau;
- Technik** (Wasser-, Straßen- und Brückenbau, Maschinen- und Elektrotechnik, Schiffsbau, mechanische, physikalische und wirtschaftliche Probleme der Technik):
Herr Prof. Dr.-Ing. E. h. **Fritz Emde**, Techn. Hochschule Stuttgart.

Neuere und neueste Hefte der „Sammlung Vieweg“

- Heft 20. Dr. Erik Liebreich: *Rost und Rostschutz*. Mit 22 Abbildungen. M. 3,25.
- Heft 21. Prof. Dr. Bruno Glatzel: *Elektrische Methoden der Momentphotographie*. Mit dem Bilde des Verfassers und 51 Abbildungen. M. 4,—.
- Heft 22. Prof. Dr. med. et phil. Carl Oppenheimer: *Stoffwechselfermente*. M. 2,50.
- Heft 23. Dr. Alfred Wegener: *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. 3., gänzlich umgearbeitete Auflage, erschien als Bd. 66 unserer Sammlung „Die Wissenschaft“.
- Heft 24. Dr. W. Fahrion: *Die Härtung der Fette*. 2., vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 5 Abbildungen. M. 6,—.
- Heft 25. Prof. Dr. A. Wassmuth: *Grundlagen und Anwendungen der statistischen Mechanik*. 2. Auflage. Mit 4 Abbildungen. M. 4,—.
- Heft 26. Dr. A. Lipschütz: *Zur allgemeinen Physiologie des Hungers*. Mit 39 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 27. Prof. Dr. C. Doelter: *Die Farben der Mineralien, insbesondere der Edelsteine*. Mit 2 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 28. Dr. W. Fahrion: *Neuere Gerbmethoden und Gerbetheorien*. M. 4,50.
- Heft 29. Dr. Erik Hägglund: *Die Sulfitablauge und ihre Verarbeitung auf Alkohol*. 2. Auflage. Mit 6 Abbildungen und einer Tafel. M. 3,50.
- Heft 31. Dr. Heinrich Faßbender: *Die technischen Grundlagen der Elektromedizin*. Mit 77 Abbildungen. M. 4,—.
- Heft 32/33. Prof. Rudolf Richter: *Elektrische Maschinen mit Wicklungen aus Aluminium, Zink und Eisen*. Mit 51 Abbildungen. M. 6,—.

Fortsetzung siehe 3. und 4. Umschlagseite.

Elektrische Öfen mit Heizkörpern aus Wolfram

Von

Werner Fehse



Mit 48 Abbildungen
und einem Vorwort von Dr. Franz Skaupy

Druck von Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.
Braunschweig 1928

Herausgeber dieses Heftes:
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr.-Ing. e. h. Karl Scheel, Berlin

ISBN 978-3-322-98205-6 ISBN 978-3-322-98892-8 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-322-98892-8

Alle Rechte vorbehalten

Vorwort.

Für Untersuchungen und Arbeiten bei den höchsten künstlich erreichbaren Temperaturen, wie sie insbesondere auch in der elektrischen Beleuchtungstechnik vorkommen, sind handliche und dauerhafte Öfen, die solche Temperaturen bequem zu erreichen gestatten, eine dringende Notwendigkeit. Seit durch die Entwicklung der Glühlampe die Temperaturbeständigkeit des Wolframs allgemeiner bekannt wurde, sind auch verschiedene Konstruktionen von Öfen, die Wolfram als Heizkörper enthalten, in der wissenschaftlichen und technischen Literatur beschrieben worden, meist kleinere primitive Apparate, wenig geeignet für eine größere Anzahl aufeinanderfolgender Versuche oder technischer Operationen. Aus diesem Grunde betraute ich vor einigen Jahren meinen Mitarbeiter Werner Fehse im Rahmen der Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung G. m. b. H. Osram mit der systematischen Entwicklung solcher Öfen, die sowohl für fortgesetzte wissenschaftliche Untersuchungen wie für den Fabrikationsbetrieb geeignet sein sollten. Den Ausgangspunkt der Arbeiten bildete ein kleines Öfchen, dessen Heizrohr ich aus einem massiven, vorgesinterten Wolframstab durch Ausbohren und Abdrehen und Nachsintern bei hoher Temperatur hatte herstellen lassen. Rohre dieser Art haben vor solchen aus Blech oder Draht den großen Vorteil, nicht durch Rekristallisation spröde zu werden. Auch ist die Neigung zu Formänderungen selbst bei höchsten Temperaturen eine geringe. Es gelang im Laufe der Zeit, wesentlich größere und gut durchgebildete Konstruktionen zu schaffen. Gleichzeitig ergaben sich brauchbare Konstruktionen anderer Art, z. B. Drahtöfen mit Stützung des Heizkörpers aus keramischen Massen. Letzteren, vor allem dem Zirkonoxyd und seiner geeigneten Anwendung, wurde besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Bei einem Teil der Arbeiten, hauptsächlich bei den letztgenannten, wurden wir nicht unwesentlich von Herrn Professor M. Pirani unterstützt. Während die bisher erwähnten Öfen einer reduzierenden Schutzatmosphäre bedürfen, ergab sich für Untersuchungen an glühenden Oxyden und Oxydgemischen das Be-

dürfnis, Öfen für möglichst hohe Temperaturen in oxydierender Atmosphäre zu besitzen. Die Schwierigkeiten, in oxydierender Atmosphäre über 2000° C zu kommen, sind wesentlich größer als bei den mit Schutzgas betriebenen Wolframöfen, und die Grenze, welche durch die Feuerbeständigkeit der Oxyde gegeben ist, wurde bei den bisher bekannten und hier beschriebenen Öfen noch lange nicht erreicht. Einige von uns ausprobierte Öfen dieser Art sind am Ende des Buches beschrieben. Aus äußeren Gründen mußten unsere Arbeiten für neue Öfen leider vor der Zeit abgebrochen werden; doch können wir hoffen, daß die mitgeteilten Ergebnisse einer weiteren Entwicklung des Gebietes durch andere nützlich sein werden. Besonderen Dank schulden wir auch Herrn OBERINGENIEUR Adolf FEHSE für seine Mithilfe bei Durchbildung vieler hier beschriebener Konstruktionen.

Berlin, den 5. September 1927.

Dr. Franz Skaupy.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	IV
Einleitung	1

Erster Abschnitt. Freitragende Wolframöfen.

1. Mit Schutzgaspülung.

a) Schutzgas	1
b) Herstellung der Heizkörper.	2
c) Schutz gegen Ausstrahlung und Konvektion	3
d) Horizontaler Wolframrohröfen	4
e) Vertikaler Wolframofen mit Quecksilberstromzuführung.	13
f) Vertikaler Wolframofen mit flexibler Stromzuführung.	15
g) Vertikaler Wolframofen mit Strahlungsschutz	15

2. Vakuumöfen.

a) Wartenbergöfen	17
b) Horizontaler Wolframrohröfen (Wolframblech)	21
c) Vertikaler Wolframofen (Drahtgeflecht)	24
d) Vertikaler Wolframrohröfen (Massivrohr)	26

Zweiter Abschnitt.

1. Öfen mit Wolframheizkörpern auf keramischer Unterlage.

a) Rohröfen mit Wolframdrahtwicklung	29
b) Rohröfen mit rechteckigem Querschnitt	31
c) Bündelrohröfen	32

2. Wolframwendel- und Staböfen.

a) Wolframwendelöfen mit Wasserkühlung	35
b) Wolframwendelvakuumöfen	36
c) Wolframwendelöfen ohne Wasserkühlung	38
d) Wolframwendelmuffelöfen	38
e) Wolframstaböfen (nach Le Rossignol)	40

Dritter Abschnitt. **Energiebedarf und Berechnung der Öfen.**

Anhang.

Einige elektrische Öfen besonderer Art.

	Seite
1. Hochfrequenzöfen.	
a) Schaltung nach Debuch-Lorenz	48
b) Schaltung nach Northrup	49
c) Hochfrequenzofen nach Northrup	50
d) Schaltung nach Ribaud	50
e) Hochfrequenzofen mit Maschine und Schaltung nach Lorenz	51
f) Hochfrequenzofen nach der General Electric Co.	55
2. Kathodenstrahlöfen.	
a) Nach Wartenberg	56
b) Nach Tiede	57
c) Nach Gerdien und Rigger	59
3. Wolframlichtbogenöfen.	
4. Oxydierende Öfen.	
a) Gassauerstoffofen für Temperaturen über 2200° C	66
b) Oberflächenverbrennungsöfen für Temperaturen bis 2200° C (System Schnabel) :	67
Namenregister	69
Sachregister	70

Einleitung.

In den letzten Jahren ist auf dem metallurgischen und dem keramischen Gebiet eifrig an der Erhöhung der Brenntemperatur der Öfen gearbeitet worden.

Das vorliegende Buch will durch die Beschreibung der angewandten Arbeitsmethoden und die anschauliche Darstellung der Konstruktionen es den beteiligten Kreisen ermöglichen, sich selber Öfen zu bauen, in denen sie die höchsten Temperaturen erreichen können. Unter den beschriebenen Konstruktionen befinden sich auch einige Ofentypen, besonders für niedrige Temperaturen, die seit Jahren in der Glühlampenindustrie gebraucht werden. Es war aber nötig, auch diese aufzuführen, weil die Entwicklung der Neukonstruktionen teilweise auf ihnen aufgebaut ist.

Erster Abschnitt.

Freitragende Wolframrohröfen.

1. Mit Schutzgasspülung.

Wir können sie in zwei Gruppen teilen, je nachdem ihr Heizkörper und Erhitzungsraum in einer Gasatmosphäre oder im Vakuum sich befinden. Im ersteren Fall bedingt die Oxydierbarkeit des Wolframs ein indifferentes bzw. reduzierendes Schutzgas, über welches hier das Nötige vorausgeschickt werden soll.

a) Schutzgas. Als Schutzgas wird entweder Wasserstoff oder noch besser das sogenannte Formiergas verwendet.

Unter Formiergas verstehen die Glühlampenfabriken ein Gemisch von Stickstoff und Wasserstoff (z. B. 75 % N_2 + 25 % H_2). Es ist bei Gebrauch des Gases darauf zu achten, daß es sowohl trocken wie auch sauerstofffrei und kohlenstofffrei ist. Die übliche Reinigung wird durch Abb. 1 veranschaulicht.

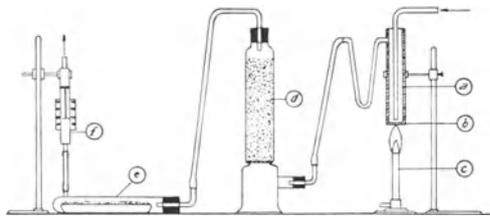


Abb. 1. Trockenanlage.

a ist ein Rückstrombrenner aus Eisen, dessen Boden *b* durch die Flamme *c* auf Rotglut gehalten wird. Das Gas wird über den Boden getrieben, wodurch der in ihm enthaltene Sauerstoff mit dem überschüssigen Wasserstoff zu Wasser verbrennt. *d* ist ein mit Alkalistücken gefüllter Turm zum Entfernen des Kohlenoxyds, *e* ein mit Phosphor-pentoxyd gefülltes Glasrohr und dient zum Trocknen des Gases. Das so gereinigte und getrocknete Gas ist nun gebrauchsfähig und wird durch eine Gasuhr *f* (z. B. Rotamesser, Ventourimesser) in den Ofen geleitet. Das ausströmende Gas wird entweder am Ausströmungsende des Ofens angezündet oder in den Abzug geleitet, um ein Ansammeln brennbarer oder giftiger Gase im Arbeitsraume zu verhindern.

b) Herstellung der Heizkörper. Einer der ersten Wolframrohröfen ist der von Wartenberg gebaute¹⁾. Das Heizrohr wurde hergestellt, indem das mit etwas Stärkekleister zu einem möglichst trockenem backenden Brei angemachte Wolframpulver in die in Abb. 12 abgebildete Presse getan wurde. Auf der Basis der Preßform sitzt ein Dorn von dem inneren Durchmesser des zu formenden Rohres, der mit Marineleim oder dergleichen überschmolzen ist. Der Brei wird eingestampft, $\frac{1}{2}$ Stunde mit dem Kolben zwischen Reitstock und Futter einer Drehbank gepreßt und schließlich der Dorn samt dem Rohr mittels des Kolbens und der Reitstockspindel herausgedrückt, während das Futter gegen die angelötete Platte *a* preßt. Nach Trocknung bei gelinder Wärme wird der Dorn erhitzt, worauf sich das Rohr leicht abheben läßt. Es kommt ein unglasiertes Porzellanrohr oder dergleichen zur Stütze hinein, und dann wird es bei möglichst hoher Temperatur (etwa 1200° C) in Wasserstoff geglüht. Man erhält so ein festes Rohr, das sich leicht dünnwandig feilen läßt und mit einem wässerigen Brei von Thoriumoxyd ausgeschmiert wird.

Der Wunsch, Bindemittel zu vermeiden, auch Rohre größerer Dimensionen leicht herzustellen, führte uns zu folgenden zwei Methoden:

1. Wolframpulver wurde in einer Preßform zu Vierkantstäben gepreßt, in Formiergas bis 1300° C vorgesintert und aus dem Stab ein Rohr gedreht. Die Größe der Rohre war nach dieser Arbeitsweise natürlich beschränkt. Zweckmäßig läßt man solche Rohre an den Enden etwas dicker (s. Abb. 3).

2. Wolframpulver wurde zwischen zwei koaxialen Gummischläuchen hydraulisch zu Röhren gepreßt. Dadurch wurde erreicht, diese in einer

¹⁾ Wartenberg, Zeitschr. f. Elektrochem. 15, 870, 1909.

Länge von 600 mm mit einer gleichmäßigen Wandstärke zu erhalten. Abb. 2 veranschaulicht die Preßvorrichtung.

a, das Preßgefäß, kann unter einen Wasserdruck bis zu 4000 kg/qcm gesetzt werden. *b* ist ein mit Nut und Feder versehenes Stahlrohr, das innen eine geschliffene Wandung hat. In diesem liegt das mit Gummischlauch *d* überzogene und durchlöcherichte Stahlrohr *c*, zwischen Gummischlauch und Rohr *b* das Wolframpulver *e*. Um das Rohr *b* legt man zur Dichtung den Gummischlauch *f* mit den Schellen *g*. Seitwärts werden Stahlpfropfen *h* und *h*₁ eingesetzt. Der Preßvorgang ist folgender: Im Rohr *b* wird nach Anbringen von Schlauch und Schellen das Rohr *c* mit dem Schlauch *d* durch Einstecken in den einen Pfropfen *h* zentriert. Zwischen *d* und *b* wird nun Wolframpulver *e* eingefüllt, der zweite Pfropfen *h*₁ eingesetzt und nach Abdichten der beiden Schläuche durch die Schellen *g* die ganze Preßform in das Gefäß *a* gelegt. Dabei wird, da der Druck sich auf die beweglichen Flächen auswirkt, der Gummischlauch *d* in radialer und die Pfropfen *h* und *h*₁ in axialer Richtung, dabei aber auch das Wolframpulver zusammengepreßt. Der Preßdruck beträgt etwa 1000 kg/qcm. Die Preßform wird nun auseinandergenommen und das Wolframrohr von den beiden Hälften des Rohres *b* befreit. Dies läßt sich, da die Innenfläche poliert ist, leicht abheben, und das Wolframrohr kann auf einer Wolframunterlage in irgend einem Ofen mit reduzierender, nicht kohlennder Atmosphäre bis 2000° C hochgesintert werden. Die Wolframunterlage ist von ausschlaggebender Bedeutung, da ein Sintern des Wolframrohres auf anderer Unterlage erfahrungsgemäß zu einem Reißen des Rohres führt.

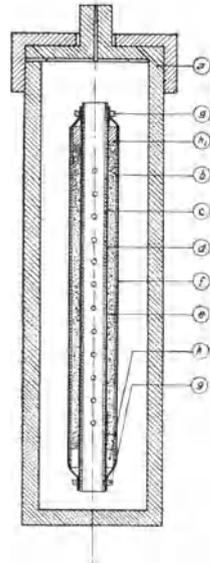


Abb. 2. Preßvorrichtung zum Pressen von Wolframröhren.

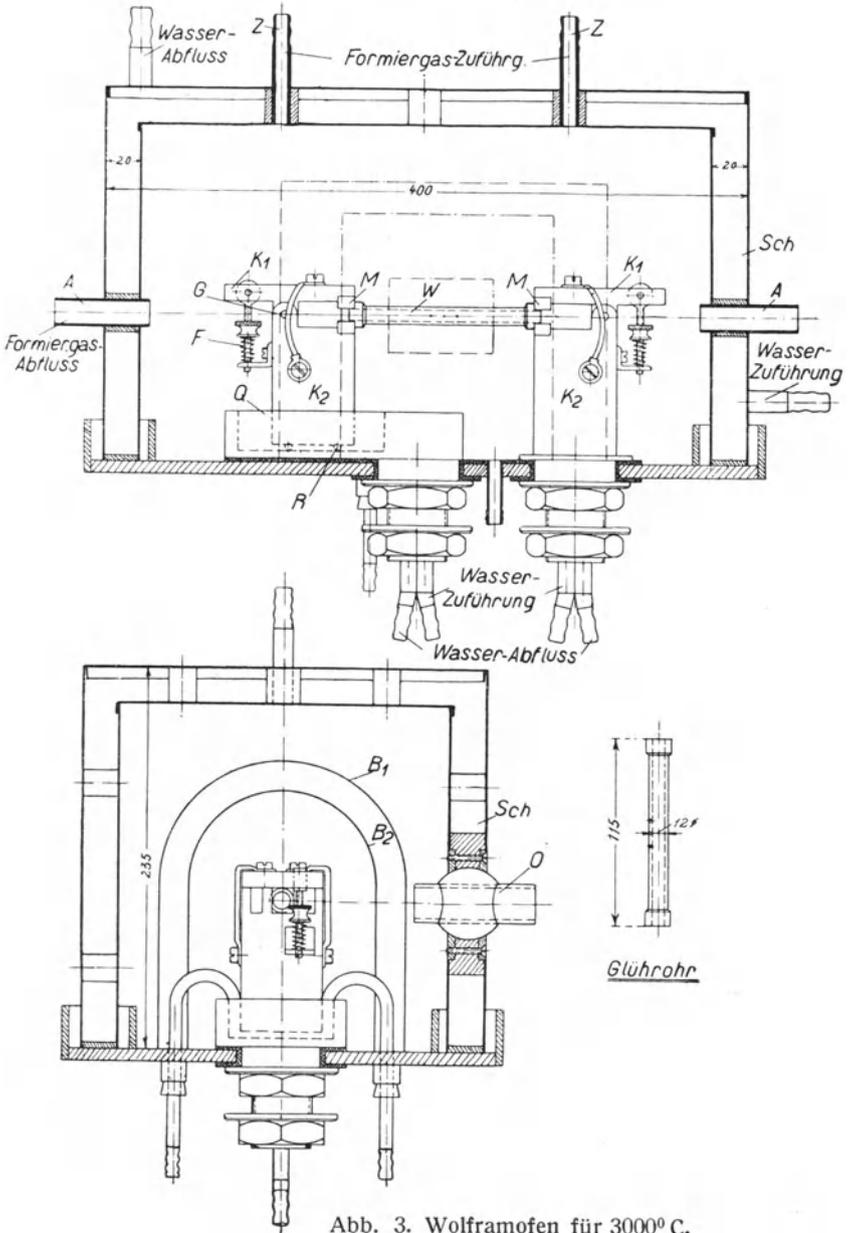
c) Schutz gegen Ausstrahlung und Konvektion. Die Öfen dieser Gruppe sind für so hohe Temperaturen gebaut, daß ein Verwenden von keramischen Massen zu Ofenkammern oder als Wärmeschutz nicht in Frage kommt. Zirkonoxyd gibt bei 2600° C schon erhebliche Dämpfe ab, die den Heizkörper angreifen. Thoriumoxyd ist seines großen Ausdehnungskoeffizienten wegen nicht zu empfehlen, da jegliches rapides Variieren der Temperatur ein Auseinanderspringen

der hergestellten Formkörper zur Folge haben würde. Da ein Schutz zur Verminderung des Energieverlustes nötig ist, werden entweder Molybdän- oder Wolframbleche verwendet, die koaxial um den Heizkörper angeordnet werden. Von noch größerer wärmeisolierender Wirkung hat sich poröses Wolfram gezeigt¹⁾, dessen spezifisches Gewicht nur annähernd die Hälfte von kompaktem Wolfram, also an Stelle von 18,5 bis 19 nur etwa 10 und zweckmäßig sogar noch darunter liegt. Während die Wärmeleitfähigkeit einer solchen porösen Wolframauskleidung infolge der zwischen den festen Bestandpartikelchen vorhandenen kleinen Lufträume nur etwas größer als die von Zirkonoxyd ist, ist die Hitzebeständigkeit unvergleichlich höher. Dabei ist der Strombedarf sehr gering, wie sich beispielsweise daraus ergibt, daß ein mit dieser wärmeisolierenden Auskleidung versehener Ofen, dessen Glühzone 540 mm Länge und 35 mm lichte Weite besitzt, bei 2850° C nur 24 kW und bei 3000° C nur 30 kW zum Betriebe benötigt gegen etwa 240 bzw. 300 kW, wenn unter Fortfall der neuen Auskleidung das Metallgehäuse mit äußerer Wasserkühlung benutzt wird. Um die Auskleidung herzustellen, wird das Wolframpulver zwischen zwei konzentrischen Wolframblechrohren eingeschüttet. Die Enden der Rohre werden, damit das Pulver nicht herausrieseln und Kurzschluß bilden kann, mit Wolframwolle (d. h. Wolframabfalldraht, der zu einem losen Knäuel zusammengeballt wird) abgedichtet. Die entstandene Patrone wird nun so um den Heizkörper gebaut, daß zwischen diesem und der inneren Patronenwand etwa 5 mm Abstand ist. Hierdurch wird ein gegenseitiges Berühren und damit das Entstehen eines Kurzschlusses vermieden. Man kann aber auch unter Verwendung von geeigneten Formen aus porösem Wolframpulver durch Pressen und nachherigem Sintern in reduzierender Atmosphäre Ringkörper herstellen, die dann in die Ofenkammer eingesetzt bzw. entsprechend aneinander gefügt werden. Dann sind Rohre zum Einschluß des Pulvers unnötig.

d) Horizontaler Wolframrohröfen²⁾. Das Wolframrohr (*W*) in Abb. 3 ist durch Ausbohren und Abdrehen eines aus Wolframpulver gepreßten und vorgesinterten Vierkantstabes hergestellt, und im Wolframstabofen (Abb. 28) bis zur endgültigen Form gesintert. Eine auf Rollen beweglich angeordnete Kontaktbacke ($K_1 K_2$) ermöglicht eine spannungsfreie Lagerung des Wolframrohres auch bei Verlängerung infolge von Wärmeausdehnung bei hohen Temperaturen. Die Abmessungen des

¹⁾ D. R.-P. Nr. 436 146, Kl. 21 h, Gr. 25.

²⁾ Zeitschr. f. techn. Phys. Nr. 10, S. 473—475, 1924.



Rohres sind etwa: 12 mm Außendurchmesser, 100 mm Länge, 1 mm Wandstärke in der Mitte, 2 mm an den Enden. Wenn die Mitte eine Temperatur von 2500° C aufweist, glüht ein Stück von etwa 3 cm gleichmäßig, während die Temperatur an den Enden noch etwa 1100° C beträgt.

Der Strom wird durch die Kontaktbacken $K_1 K_2$ aus Kupfer zugeführt; davon ist die eine, wie erwähnt, mit Stahlrollen (R) versehen und in einem mit Quecksilber (Q) gefüllten Behälter frei verschiebbar angeordnet, die andere fest. Dieser Behälter und die feste Kontaktbacke sind wassergekühlt. Das obere Kontaktstück K_1 wird durch Wolframfedern (F) (aus Wolframdraht bei Rotglut hergestellt) fest auf das Rohr gedrückt. Als Stromverbindung zwischen K_1 und K_2 sind außer dem Gelenk (G) noch Kupferseile angeordnet; dadurch wird eine übermäßige Erwärmung der Federn durch den Strom vermieden. In die Berührungsstellen der Kupferkontaktbacken ($K_1 K_2$) mit dem Wolframrohr (W) sind dicke Molybdänbleche (M) eingelassen. Die Temperatur an den Enden des Wolframrohres ist noch so hoch, daß sonst die Kupferbacken schmelzen würden.

Oberhalb des Rohres sind zwei Molybdänbleche (B_1 und B_2) als Strahlungsschutzbleche angeordnet.

Umgeben ist der Ofen von einem wassergekühlten Schutzkasten (Sch).

Die Dicke des Kühlmantels beträgt 20 mm, die Außenabmessung $400 \times 240 \times 240$ mm.

Beim Betrieb wird durch die Zuführungen (Z) des Schutzmantels ein reduzierendes oder indifferentes Gas geleitet. Es durchfließt mit einer Geschwindigkeit von 600 Liter pro Stunde den Kasten. Das Formiergas strömt aus A aus. Diese Abflußöffnung ist so angebracht, daß durch sie das Rohrrinnere (axial) gesehen werden kann. (Entsprechende Aussparungen sind in den Kontaktbacken vorhanden.) Eventuell kann das Rohr von hieraus fortlaufend mittels Schiffchenbeschickung benutzt werden. Im allgemeinen sind bei einmaliger Beschickung die Rohrenden durch eingepaßte Wolframplöcke ausgefüllt; das Rohr behält dann auch an den Klemmstellen seine Form. Bei offenem Rohr dagegen werden die Enden leicht bei hohen Temperaturen trotz ihrer doppelten Wandstärke zusammengedrückt. Die Temperatur T_w im Innern des Wolframrohres wird durch das Schaurohr O , daß mittels Kugelgelenk in Sch befestigt ist, pyrometrisch beobachtet. Zweckmäßig ist deshalb in der Mittelzone ein etwa 1 bis 2 mm starkes Loch vorgesehen, durch das man das Innere anvisieren kann, um so die wahre Temperatur zu

messen. [Da die Oberflächenbeschaffenheit der Röhre wechselt, ändert sich das Absorptionsvermögen (0,47 bis 0,8), und es ist daher aus einer Temperaturmessung an der Außenfläche die wahre Temperatur nicht leicht zu bestimmen].

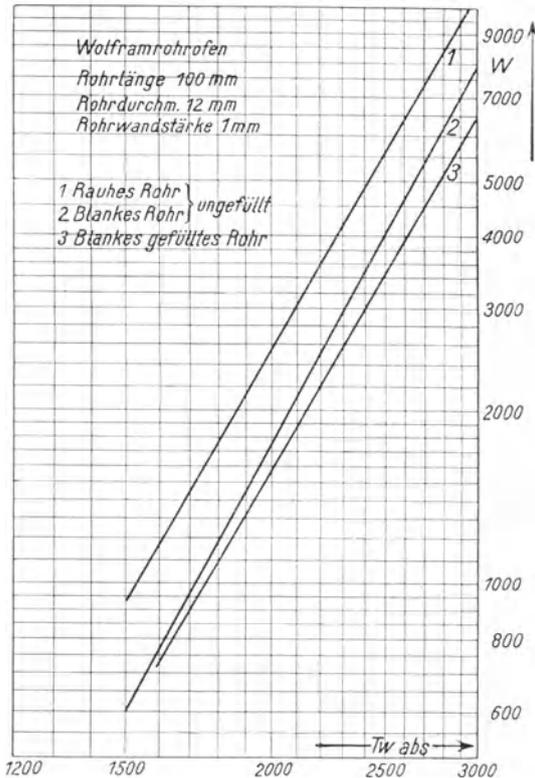


Abb. 4. Energiebedarf von Wolframröhren mit verschiedener Oberfläche.

Der Energiebedarf des Ofens ist im wesentlichen eine Funktion der Strahlung und daher je nach der Oberflächenbeschaffenheit des Wolframrohres sehr verschieden. Die größte Strahlung hat ein rauhes, nicht genügend gesintertes Rohr. In vollständig trockener Gasatmosphäre bildet sich dann beim Glühen bei etwa 2500° C eine annähernd glatte Oberfläche aus. Einen noch höheren Glanz kann man durch Polieren des bereits hoch gesinterten Rohres erzielen. Am besten definiert ist eine hochglanzpolierte Oberfläche. Ein weiterer wichtiger Faktor, der

den Energiebedarf des Ofens sehr beeinflusst, ist die Füllung des Rohres, und zwar deswegen, weil sie den Strahlungsverlust des Ofens beeinflusst. Das Rohr hat nämlich infolge des starken Temperaturgefälles nach den Enden einen starken Strahlungsverlust im Innern, den man folgendermaßen eliminieren und messen kann. Man füllt das Rohr mit einem Material, welches, ohne die Wärmeleitungsverluste merklich zu ändern, die Innenstrahlung unterdrückt. Dazu eignet sich z. B. durch Zusammenballen von dünnem Wolframdraht hergestellte „Wolframwolle“¹⁾. Die Kurven (Abb. 4) geben den Energiebedarf 1. für ein rauhes ungefülltes, 2. für ein blankes ungefülltes und 3. für ein blankes gefülltes Rohr an. Bei $T_w = 2500^\circ$ abs. ist das Energieverhältnis für die drei Rohre 1,7 : 1, 25 : 1.

Die Tabelle gibt Volt und Ampere für ein blankes Rohr ohne Füllung wieder.

Tabelle 1. Für blankes Rohr ohne Füllung.
Wandstärke 1 mm, Länge etwa 100 mm, Durchmesser 12 mm.

T° abs. wahre	Ampere	Volt
1500	386	1,62
1600	414	1,87
1800	505	2,43
2000	585	3,08
2200	675	3,8
2400	765	4,6
2600	865	5,45
2800	975	6,4
3000	1080	7,4

Die Wärmeableitung an das Gas wurde, wie hier nicht näher ausgeführt werden kann, zu 10 % von der Gesamtenergie gefunden.

Der Ofen verträgt eine Temperatur von 3300° abs. für längeren Betrieb. Bei höheren Temperaturen treten häufig Störungen, besonders an den Kontakten, ein.

Abb. 5 zeigt das Schaltungsschema des Ofens. Der Ofen 1 ist an den Transformator 2 angeschlossen, dessen Primärwicklung durch die parallel geschalteten und wassergekühlten Widerstände 3 reguliert wird. Der Wattverbrauch des Rohres wird durch den Stromtransformator 19 und ein direkt an die sekundären Stromschienen angeschlossenes Voltmeter gemessen. 4 und 5 zeigen den Weg des Schutzgases und 6, 7, 8 und 9 den des Kühlwassers.

¹⁾ Die Außenstrahlung kann gleichfalls vermindert werden durch Umgeben des Rohres mit Wolframwolle, doch erschwert dies den Zusammenbau.

Der Transformator ist ein für Ofenanlagen gebauter Stufentransformator von 40 kVA, der bei 10, 20, 30 und 40 Volt 4000, 2000, 1333 und 1000 Ampere leistet. Ofentransformatoren werden jetzt von den Firmen Koch & Sterzel und Siemens & Halske direkt mit einem Regulierrtransformator (Buster, Drehregler) geliefert, wodurch man den Primärstrom beinahe verlustlos regulieren kann. Am besten verwendet man als sekundäre Stromzuführungen wassergekühlte Kupferrohre. Die in Abb. 5 gezeigten Widerstände sind besonders zum Sintern von Wolfram konstruiert. Da ein solcher Widerstand trotz seiner geringen Größe und einfachen Konstruktion eine sehr große Leistungsfähigkeit besitzt, er ver-

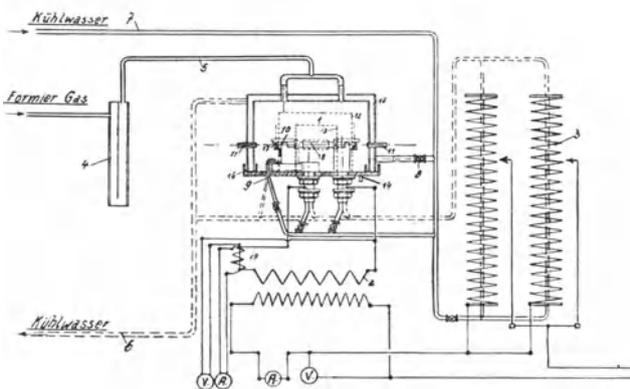
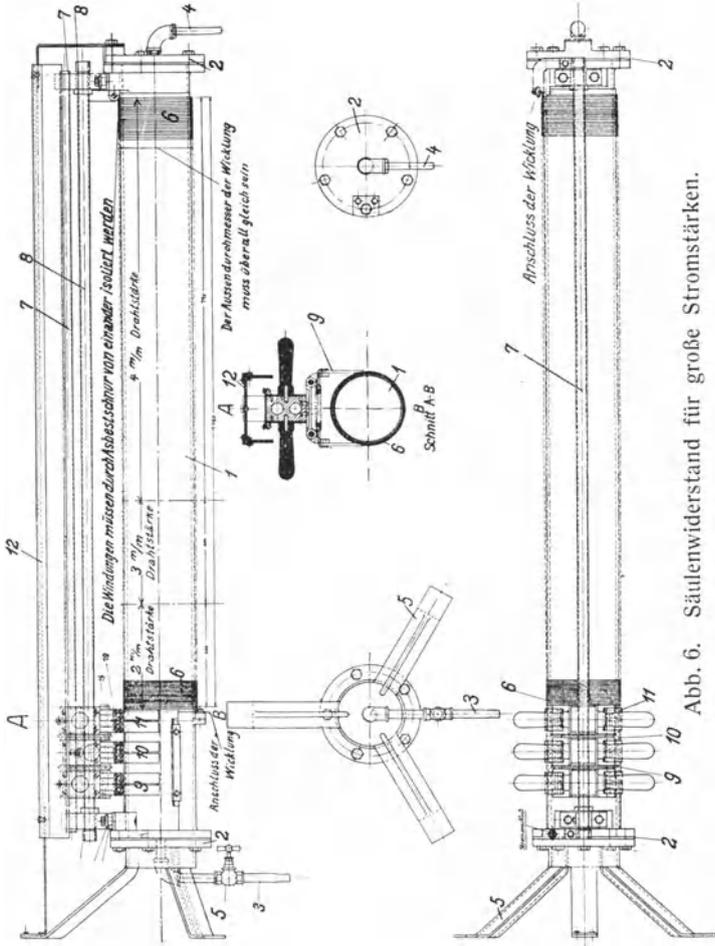


Abb. 5. Schaltungsschema für Wolframrohröfen.

trägt bei kontinuierlichem Gebrauch 200 Ampere, soll er hier beschrieben werden. In Abb. 6 ist 1 ein wassergekühltes gußeisernes Rohr, das an den Enden mit Flanschen 2 geschlossen ist. Durch diese führen Wasserzu- und Abflußrohre 3 und 4. Das Eisenrohr steht auf Dreifuß 5. Das untere Ende des Rohres ist in einer Länge von 250 mm mit Preßspan isoliert. Der übrige Teil des Rohres trägt die Widerstandswicklung 6. Diese ist von dem Rohr durch Asbestpappe isoliert. Die Windungen müssen auch durch Asbestschnur voneinander getrennt werden. Wie die Abbildung zeigt, ist der Durchmesser des Widerstandsdrahtes abgestuft. Der Durchmesser des Drahtes ist in einer Höhe von unten her 200 mm = 2 mm, 200 mm = 3 mm und 800 mm = 4 mm. Seitwärts sind an der Säule die beiden Messingstangen 7 und 8 isoliert angebracht. Sie dienen als Stromzuführungen und tragen die Bürsten 9, 10 und 11. Jede Bürste hat abwechselnd mit einer Stange und mit der Wicklung

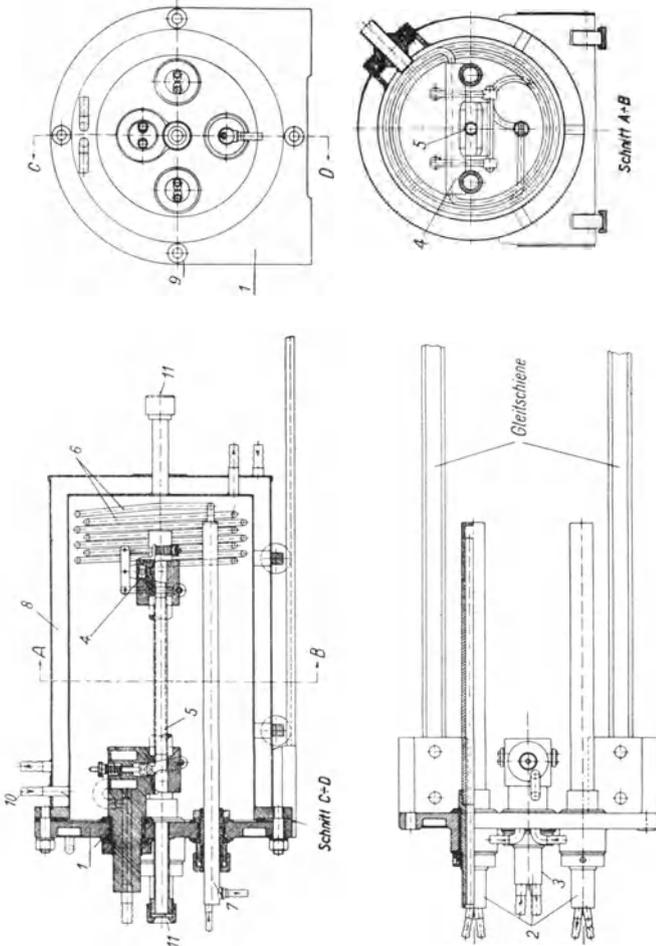
Kontakt. 12 ist ein Schutzschild. Die Abbildung zeigt den Widerstand in ausgeschaltetem Zustand, da die Bürsten auf der isolierenden Preßspannschicht ruhen. Beim Verwenden des Widerstandes wird zuerst



das Kühlwasser angestellt. Dann werden die Bürsten hochgezogen, und man kann durch richtiges Verteilen derselben auf der Säule (parallel schalten) den Widerstand bis zu etwa 200 Ampere ohne Gefahr belasten.

Da bei Ofen Abb. 3 beim Arbeiten mit hohen Temperaturen immer ein Verdampfen des Quecksilbers aus der Abdichtung und dem Kontakt-

becken eintrat, wurde ein neuer Ofen ohne Verwendung von Quecksilber gebaut. Abb. 7 veranschaulicht die neue Konstruktion in einem Längs- und einem Querschnitt und in zwei Ansichten.



Ansicht von oben ohne Kühlmantel und Gleitkontakt
Abb. 7. Wolframofen (neue Konstruktion).

Der Ofen besteht aus einer wassergekühlten Stirnwand 1 aus Rotguß. Diese dient als Träger für die isoliert durchgeführten Stromzuführungen 2 und 3. Die Stromzuführung 2 besteht aus zwei wassergekühlten Kupferrohren, die eine Gleitkontaktbacke 4 tragen. Zwischen der festen Kontaktbacke 2 und der beweglichen 4 ist das Wolframrohr 5 eingespannt,

dessen Ausdehnung bei hoher Temperatur durch das Gleiten der Backe 4 ermöglicht wird. Um Backe 4 mit Wasser kühlen zu können, ist sie mit einer federnden Kupferspirale 6 verbunden, die durch Rohr 7 mit

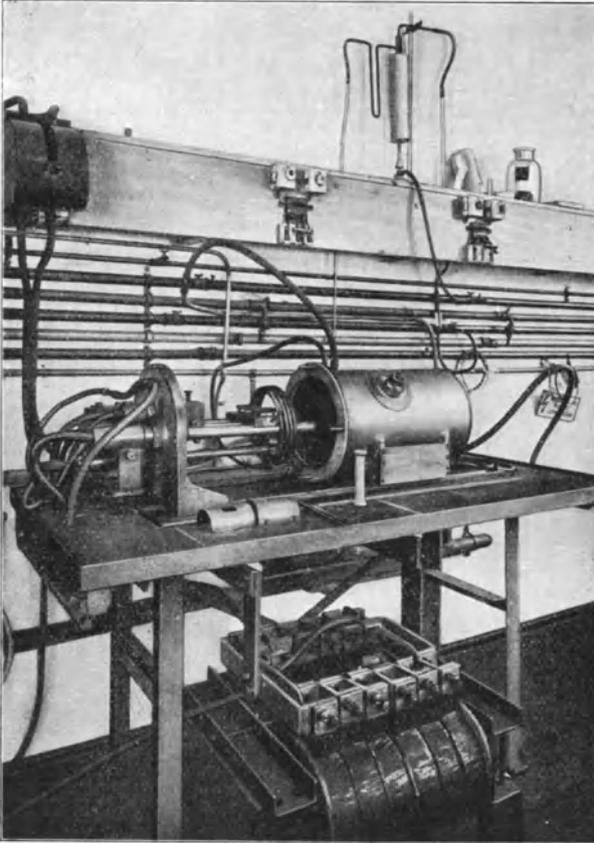


Abb. 8. Aufbau des Wolframrohrofens.

Kühlwasser gespeist wird. Die auf Rädern laufende Glocke 8 umschließt das Ganze. Sie wird durch Schrauben 9 gegen die Stirnwand 1 gedrückt und mit einer Gummischeibe abgedichtet.

Die Glocke ist wie bei Abb. 3 wassergekühlt und mit Gasstutzen 10 und Schaugläsern 11 und 12 versehen.

Dieser neue Ofen ermöglicht die Verwendung von Wolframrohren beliebiger Länge, da Kontaktbacke 4 mit Rohr 7 nach Wunsch für kurze und lange Rohre (bis 300 mm) verstellbar werden können.

Abb. 8 ist eine Vorderansicht des Ofens im offenen Zustand, mit Transformator und Gaszuführungsanlage.

e) Vertikaler Wolframofen mit Quecksilberkontakt. Da es beim Arbeiten mit hohen Temperaturen oft wünschenswert ist, in vertikalen Wolframrohren zu arbeiten, zeigt Abb. 9 einen Ofen für diesen Zweck. Der vertikale Ofen hat den Vorteil, daß man das Wolframrohr bis dicht unter seinen Schmelzpunkt¹⁾ glühen kann, ohne daß es durchsackt. Notwendig ist nur, daß die untere Stromzuführung so ausbalanciert ist, daß das Rohr sich frei und leicht ausdehnen kann, da es sonst sofort einbeult oder sich verbiegt. Wie die Skizze zeigt, ist 1 eine Grundplatte, mit einer ringförmigen Rinne zur Aufnahme von Quecksilber versehen.

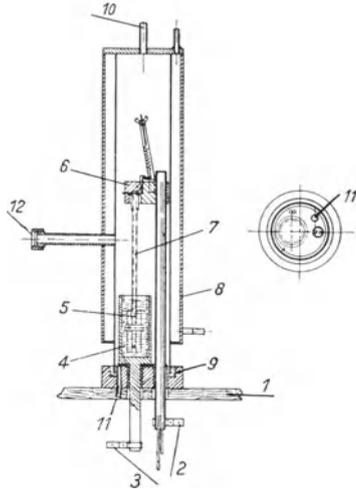


Abb. 9. Vertikaler Wolframofen mit Quecksilberkontakt.

Tabelle 2.

Heizkörper	Gas- isolation	Erreichte Temperatur °C	Wattverbrauch		Wattverbrauch Beheizte Innenfläche (W/cm ²)
			Volt	Amp.	
Wolframrohr massiv; Länge 95 mm; Außen- durchmesser 11,5 mm; Wandstärke 0,75 mm.	Wasserstoff 300 l/h	1000	1	500	17
		1500	2	700	47
		2000	3,6	1000	120
		2500	6	1350	270
		2900	9,4	1725	540
Wie oben.	Formiergas	1000	1	450	15
		1500	2	640	43
		2000	3,4	960	109
		2500	5,8	1300	250
		2900	8,2	1600	437

¹⁾ Pirani und Alterthum, Schmelzpunkt des Wolframs. Zeitschr. f. Elektrochem. 29, 5, 1923.

Durch die Grundplatte 1 gehen die beiden Stromzuführungen 2 und 3. 3 endet in einem wassergekühlten Quecksilbernapf 4, in dem eine Kupferklemme 5 schwimmt. 2, ein wassergekühltes Kupferrohr, trägt die Klemme 6. Das Wolframrohr 7 hängt zwischen den beiden Klemmen, die mit Molybdänstücken ausgefüttert und zum Erhalten eines guten Kontaktes mit Spannfedern aus Wolframdraht versehen sind. Hierdurch

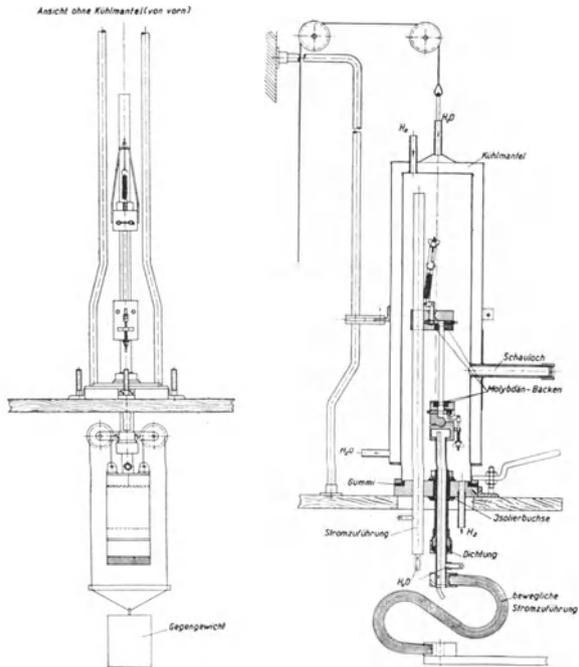


Abb. 10. Wolframrohrföfen mit flexibler Stromzuföhrung.

üben die Backen dauernd einen Druck gegen das Rohr aus. Das Niveau des Quecksilbers in Napf 4 wird so eingestellt, daß die untere Klemme 5 einen leichten Auftrieb hat. Über das Ganze ist die wassergekühlte Kupferglocke 8 gestülpt. Sie taucht mit ihrem unteren Ende in die ringförmige Rinne 9 der Grundplatte 1, die mit Quecksilber gefüllt ist und so als Abdichtung gegen die äußere Atmosphäre dient. Das Schutzgas wird durch Rohrstutzen 10 zu- und durch 11 abgeleitet. Durch Schauglas 12 wird das Rohr anyrometriert und sonst beobachtet.

Aus den aufgestellten Energietabellen ist zu ersehen, daß dasselbe Wolframrohr in Formiergas dessen geringeren Wärmeleitfähigkeit wegen etwa 10 bis 20% weniger Energie aufnimmt, als das Rohr in Wasserstoff. Die Messungen sind ohne Strahlungsschutzbleche ausgeführt, deren Einbau hier zu schwierig ist.

f) Vertikaler Wolframrohrföfen mit flexibler Stromzuführung. Abb. 10 zeigt in zwei Ansichten denselben Ofen in verbesserter Konstruktion, indem der Kontakt durch ein flexibles Band und die Abdichtung mit Quecksilber durch eine Gummi- oder Asbestpackung ersetzt ist.

g) Vertikaler Wolframrohrföfen mit Strahlungsschutz¹⁾. Um bei 3000° C größere Gegenstände betriebsmäßig sintern zu können, war es notwendig, einen Ofen zu bauen, den man während des Betriebes beschicken oder entleeren kann. Widerstandsfähig bei der Temperatur von 3000° C ist nur das massive Wolframrohr, und da eine gleichmäßige Glühzone von 500 mm, also Rohrlänge von 600 mm, nötig war, kam nur ein vertikaler Ofen in Frage.

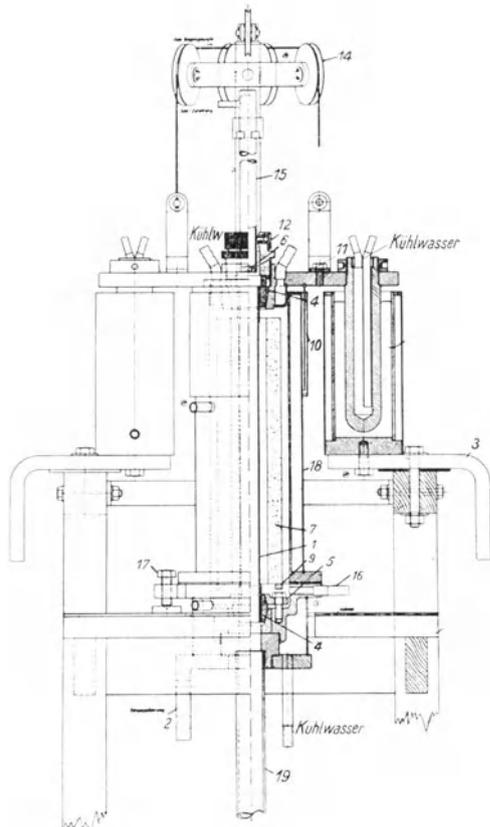


Abb. 11. Vertikaler Wolframrohrföfen mit Strahlungsschutz.

Die Konstruktion, die in Abb. 11 veranschaulicht ist, führte zu einer restlosen Lösung der verlangten Aufgabe.

¹⁾ Dieser Ofen kann auch für Vakuum gebaut werden.

Tabelle 3.

Heizkörper	Gas- isolation	Erreichte Temperatur °C	Wattverbrauch		Watt- verbrauch Beheizte Innenfläche (W/cm ²)
			Volt	Amp.	
Wolframrohr, Länge 520 mm. Innendurch- messer 33 mm. Außen- durchmesser 34,4 mm. Länge der Heizzone 480 mm.	Formiergas 300 l/h	1000	2,8	1000	5,6
		1800	6,9	1400	19,4
		2100	8,9	1550	27,8
		2550	11,2	1840	41,6
		2850	12,3	2300	57,1
Wolframrohr, Länge 520 mm. Innendurch- messer 26 mm. Außen- durchmesser 30 mm. Länge der Heizzone 450 mm.	Formiergas 300 l/h	3000	8,3	3000	67
Wolframrohr, Länge 520 mm. Innendurch- messer 27 mm. Außen- durchmesser 30 mm. Länge der Heizzone 480 mm.	Wasserstoff 300 l/h	2900	9	3300	73,5
		3000	10	3500	86,5

Das Wolframrohr 1, 600 mm lang, lichte Weite 300 mm, Wandstärke 2 mm, ist zwischen der festen Stromzuführung 2 und der beweglichen 3 gespannt. Die Stromzuführungen sind mit Wasserkühlungen versehen. Um einen guten Kontakt zwischen Stromzuführung und Rohr zu erhalten, sind konische Wolframfutter 4 von Segmentform so eingelegt, daß sie mit Verschraubungen 5 und 6 festgedrückt werden können und so einen innigen Kontakt erzeugen. Um das Wolframrohr steht eine mit porösem Wolframpulver gefüllte Patrone 7, die als Strahlungsschutz dient. Sie ist einerseits von dem Wolframrohr durch einen 5 mm Spalt getrennt, andererseits von dem wassergekühlten Messingblechmantel 18, der das Ganze umgibt, durch hochgeglühtes Zirkonoxyd, das zwischen Wolframpatrone und Kühlmantel geschüttet wird. Gehalten wird die Patrone durch die eingebetteten Wolframstäbe 9, die gegen ihre Unterlage durch Glimmer isoliert sind. Sie können auch durch einen Zirkonoxydring ersetzt werden. Abgedichtet ist das Ofengehäuse gegen die äußere Atmosphäre durch den Ölverschluß 10. Da dieser außerhalb des gekühlten Mantels liegt und keiner direkten Strahlung ausgesetzt wird, ist ein Verdampfen des Öles und eine damit auftretende Verunreinigung der Ofenkammer ausgeschlossen.

Die Ausdehnung des Wolframrohres um etwa 10 bis 20 mm, die bei Erhitzung auf 3000° C stattfindet, wird durch die Aufhängevorrichtung der Stromzuführung 3 ermöglicht. Diese besteht aus einem Travers 11, der sowohl einen Abdichtungsring 12 wie die Zugstange und die wassergekühlten Quecksilberkontakte trägt. Die letzteren sollen demnächst durch flexible Bänder ersetzt werden. Der Travers wird durch Gewichte mit Seilen über den Rollen 14 in Gleichgewicht gehalten. Das Schutzgas wird durch das Rohr 15, das die Zugstange birgt und sicherheitshalber auch durch Stutzen 16 zugeleitet. Stellschrauben 17 sind zur Ausrichtung des Ofens da, Rohr 19 dient als Kühlrohr und kann mit Wasserkühlung versehen werden. Der Arbeitsvorgang ist folgender:

Das gereinigte und getrocknete Gas wird durch das Rohr 15 in den Ofen geleitet. Nach 5 Minuten wird das Gas am Rohrstutzen 19 angezündet, der Ofen eingeschaltet und auf Rotglut gebracht. Darauf wird der Ofen durch die Stellschrauben 17 in Lot gebracht. Dies geschieht, damit die Zugstange, eine Wolframstange von 1 ½ mm Durchmesser, die von oben durch das Rohr 15 in den Ofen herabgelassen wird, nicht die Rohrwandung berührt. Dadurch wird auch gleichzeitig vermieden, daß das Sintergut, welches von unten in den Ofen hereingezogen wird, mit der Ofenwandung Kurzschluß bildet. Das Sintern kann nun nach Belieben ausgeführt werden. Die Temperaturmessung und ständige Beobachtung des Sintervorganges wird am besten durch einen an Rohr 19 angebrachten Spiegel gemacht. Bei Temperaturmessungen ist das Absorptionsvermögen des Spiegels immer zu berücksichtigen. Bei betriebsmäßigem Sintern muß das Rohr 19 mit Wasserkühlung versehen werden. (Vgl. Abb. 28 a, S. 43.)

2. Vakuumöfen.

Die bisher beschriebenen Öfen waren für Verwendung mit einer Schutzgasatmosphäre gebaut, können zum Teil aber ohne große Abänderung auch als Vakuumöfen benutzt werden. Im folgenden sollen einige Öfen beschrieben werden, die von vornherein als Vakuumöfen gedacht waren.

a) Wartenbergöfen¹⁾. Auf einer viereckigen Messingplatte ist ein Kessel aus Messingblech mit einem verglasten Schaurohr mit Marine-

¹⁾ von Wartenberg, Zeitschr. f. angew. Chem. **10**, 3287, 1909 und Zeitschr. f. elektr. Chem. **15**, 870, 1909. Fischer, Zeitschr. f. angew. Chem. **81**, 178, 1912. A. Stock, B. **42**, 2863, 1909. A. Parsons and A. C. Swinton, Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, **184**, 1908.

leim aufge kittet. Die Stromzuführung besorgen zwei 10 cm breite, $\frac{1}{2}$ mm dicke Kupferblechstreifen, von denen ein Paar an die Grundplatte angelötet, ein Paar mit Glimmer isoliert und mit Marineleim gedichtet, durch die Platte geführt ist. Im Innern sind diese Bleche schmaler und am Ende umgebogen und durchbohrt. In die Durchbohrungen passen stramm zwei kurze Kupferrohre, in die das Wolframrohr eingedrückt ist.

Für 1800° C braucht der Ofen (primär gemessen am Transformator) 2 kW. Zum Gebrauch wird die Substanz eingelegt, der Kessel aufgekittet, das Ganze umgedreht, in einen Glstopf mit strömendem Wasser

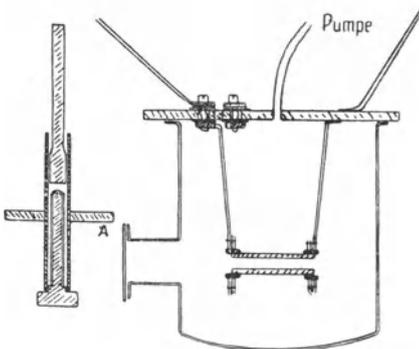


Abb. 12. Wartenbergofen.

gesetzt und mit einer Gaedepumpe fortwährend evakuiert. Der Durchmesser des Rohres ist groß genug, um bequem in dem dicht herangestellten Wannerypyrometer das Stück Metall gegen den schwarzen Hintergrund des Kessels sehen zu können.

Fichter und Oesterheld¹⁾ verbesserten den von Wartenberg gebauten Ofen, wie Abb. 13 und 14 zeigen.

Der zylindrische Vakuumsessel, dessen Maße aus den Ab-

bildungen zu entnehmen sind, ist aus Kupferblech von 3 mm Stärke angefertigt. An der Seite ist er mit einer kurzen horizontalen Röhre samt Spiegelglasfenster versehen, und durch einen aufgeschraubten flachen Bronzedeckel verschlossen, dessen Dichtung durch einen Gummiring bewirkt wird. Die vier Schrauben sind so verteilt, daß der Deckel sowohl in der Abbildung gezeichneten Stellung als in einer um 90° gedrehten aufgesetzt werden kann. Der Deckel trägt einen kleinen Vakuumsahn und die beiden Elektroden. Die eine derselben ist mit dem Deckel direkt verschraubt, die andere isoliert durchgeföhrt. Sie wird im Innern des Kessels durch mehrfache Lagen von Glimmerringen und oben durch mehrere 2 mm dicke Lagen von Klingerit vom Deckel getrennt. Die Elektroden bestehen aus weiten Kupferrohren von 3,5 mm Wandstärke. Der untere Teil derselben ist flach gehämmert, von einem hart an-

¹⁾ Verh. d. Naturf. Ges. 24, 124—135, 1913.

gelöteten kurzen Querrohr durchsetzt und durch eine einseitige vorspringende, einen stumpfen, gegen oben offenen Winkel bildende Bodenplatte verschlossen. In die Querröhren passen kurze dicke Kupferröhren,

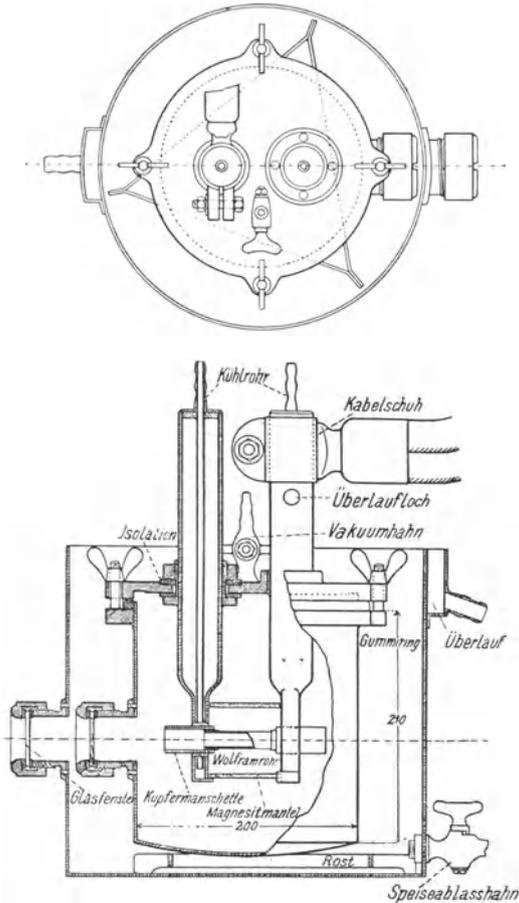


Abb. 13 und 14. Wolframrohrföfen nach Fichter und Oesterheld.

die als Fassungen der Wolframrohre dienen. Sie sollen einen möglichst guten Kontakt zwischen Elektrode und Kupferrohr, sowie zwischen Kupferrohr und Wolframrohr sichern. Man kann die Fassungen mit Schlitzfenstern versehen, und die vier Lappen um das Wolframrohr noch mit Hilfe eines Ringes und vier kleinen Schraubchen anpressen. Auf alle

Fälle muß vor dem Versuch genau geprüft werden, ob genügender Kontakt zwischen den verschiedenen ineinander steckenden Röhren vorhanden ist. Zur Verminderung des Strahlungsverlustes ist ein Magnesiumrohr als feuerfester Schirm verwendet. Dieser ruht auf dem vorsprengenden Rand der Bodenplatten der Elektroden. Zum bequemeren Einsetzen ist das Magnesiumrohr der Länge nach in zwei Hälften geschnitten. Es ist außerdem an einer Seite mit einer auf beiden Hälften übergreifenden

runden Öffnung versehen, um seitliche Temperaturbeobachtungen zu erlauben. Die Einzelheiten der beschriebenen Anordnung sind aus Abb. 15 ersichtlich.

Zur Kühlung werden die Elektroden von kaltem Wasser durchflossen, das an ihrer tiefsten Stelle durch ein Röhrchen eintritt und oberhalb des Deckels durch ein Seitenrohr abgeleitet wird. Außerdem ist der ganze Vakuumkessel in einen etwas größeren Kühlkessel eingesetzt, der durch den Ablauf der Elektroden und im Bedarfsfalle noch durch einen Hahn am Boden gespeist wird. Das erwärmte Wasser tritt durch einen Überlauf am

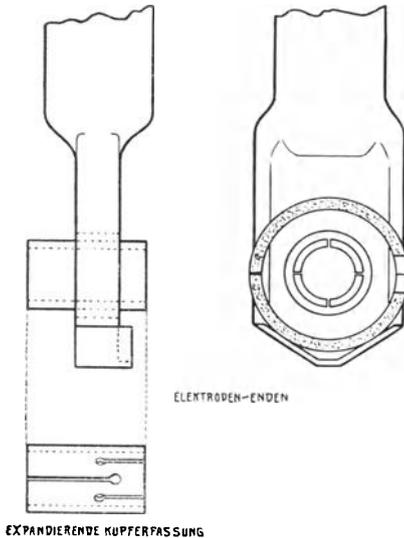


Abb. 15. Elektrodenfassung.

oberen Rande aus. Der Vakuumkessel ist vom Boden des Kühlkessels durch einen dreieckigen Rost getrennt, so daß das Wasser unten frei durchzirkuliert. Der Kühlkessel besitzt ein seitliches Spiegelglasfenster, das genau mit dem Fenster des Vakuumkessels korrespondiert. Im allgemeinen wird bei den eigentlichen Glühversuchen der Deckel samt Elektroden so eingesetzt, daß die Beobachtung der im Innern der Röhre befindlichen Körper und ihre Temperatur in axialer Richtung erfolgt (vgl. Abb. 13 und 14). Manchmal ist es bequem, die Temperatur der Wolframröhre statt der Temperatur des Schmelzgutes zu bestimmen, was durch Umstellung des Deckels ohne Schwierigkeit erzielt wird. Abb. 16 zeigt den betriebsfertigen Vakuumofen mit Transformator und Meßinstrumenten.

b) Horizontaler Wolframrohrföfen (Wolframblech). Wiegand hat zur Bestimmung der wahren Schmelztemperatur der Nernstmasse einen Wolframöfen konstruiert¹⁾, dessen Heizkörper aus einem röhrenförmig gebogenen Wolframblech besteht. Da es dem Glühlampenwerk A des Osram Konzerns gelungen war, in der Kälte

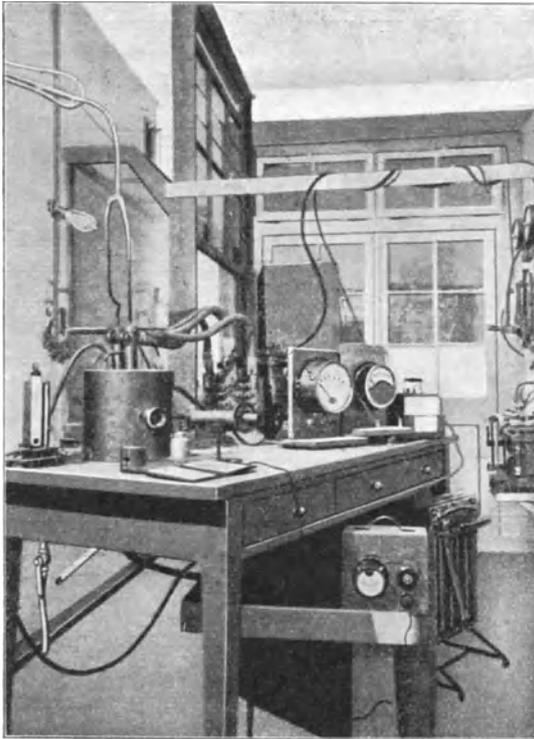


Abb. 16. Ofenaufbau von Tiede und Oesterheld.

biegsames Wolframblech herzustellen²⁾ und auch dieses Blech in Form von Röhren zu biegen, wurde ein solcher Ofen mit einem dünnwandigen Wolframblechröhr als Heizkörper ausgearbeitet, der hier etwas näher beschrieben werden soll, trotz des großen Nachteils, der Wolframblechen prinzipiell anhaftet, weil sie in der Hitze rekristallisieren und dadurch spröde werden.

¹⁾ Zeitschr. f. Phys. 30 (Heft 1), 40—49, 1924; außerdem sind Wolframvakuumöfen bei der General Electric Company seit Jahren im Gebrauch.

²⁾ D. R.-P. Nr. 297 121, Kl. 21 h, Gr. 2 vom 26. März 1927.

Der Ofen (Abb. 17) besteht aus einer Grundplatte aus Flußeisen ($360 \times 360 \times 20$ mm), aus den durch diese hindurchgehenden Elektroden, einen oben geschlossenen Stahlzylinder, der den Ofen über der Platte luftdicht abschließt, sowie dem auf den Elektroden horizontal angeordnetem Wolframrohr.

Auf der Grundplatte befindet sich eine 20 mm breite und 25 mm hohe, aus aufgeschweißten Eisenringen bestehende Führung, die den

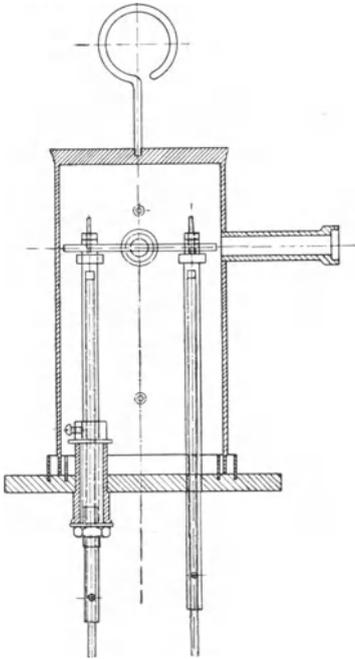


Abb. 17. Wolframofen nach Wiegand.

Zylinder aufnimmt und bei Gebrauch des Ofens zum Abdichten mit Picein oder einer ähnlichen Masse luftdicht verschlossen wird. Außerdem enthält die Platte eine mit Gewinde versehene Durchbohrung, in die eine Elektrode eingeschraubt und dann beiderseits luftdicht verlötet ist. Die andere geht durch eine in die Platte eingeschweißte Muffe, ohne deren Wandung zu berühren. Der Zwischenraum ist mit einer aus Pech bestehenden Vergußmasse ausgefüllt. Außerdem wird die Elektrode oben von einem Stelling und unten von einer Mutter, beide durch Fiberscheiben von der Muffe isoliert, gehalten. Die so erreichte isolierte Durchführung der einen Elektrode hat sich durchaus bewährt und reicht für die niedrigen in Betracht kommenden Spannungen vollkommen aus. Wenn bei starkem Erschüttern die Füllmasse von den Wandungen springt, kann sie sehr

leicht durch Heizung von außen verflüssigt werden und gibt dann beim Erkalten wieder vollkommen vakuumdichten Verschuß.

Die Elektroden bestehen aus Kupferröhren (äußerer Durchmesser 20 mm, innerer 10 mm), die beiderseits durch Kupferklötze luftdicht verschlossen sind. Die oberen Klötze sind schwalbenschwanzähnlich ausgearbeitet und dienen zur Aufnahme der Klemmen, die den Heizkörper halten. Durch den unteren Klotz geht bei beiden Elektroden ein Rohr (äußerer Durchmesser 7 mm, innerer 5 mm), das fast bis an

das obere Ende reicht; es dient zur Aufnahme des Kühlwassers, das durch ein am unteren Rand seitlich eingeführtes Rohr in die Elektrode eintritt.

Die Klammern bestehen je aus zwei Teilen und sind in der Mitte zur Aufnahme des Heizkörpers kreisförmig ausgebohrt. Das Oberteil wird durch zwei Führungsstifte der unteren Klemmenhälften gehalten, so daß der Heizkörper nur durch das Gewicht dieses Teils in die Klemme gedrückt wird. Eine starre Verbindung mittels Schrauben hat sich nicht bewährt, da das Heizrohr sich bei den großen Temperaturunterschieden nicht genug verschieben kann und daher des öfteren bricht.

Das Gehäuse besteht aus Stahl von 5 mm Wandstärke. Es enthält zwei Rohransätze zum Evakuieren sowie zum Gasdurchleiten. 265 mm über der Grundplatte sind zwei Stützen mit Schaugläsern angebracht, die sowohl das Innere des Heizrohres als auch die Wandung bequem erkennen lassen. Ein Haken im Deckel des Zylinders erleichtert das Aufwinden desselben und dient gleichzeitig zur Befestigung der Kühlvorrichtung.

Die Kühlung des Zylinders geschieht in einfacher Weise durch Berieselung. Zu diesem Zwecke ist um den oberen Rand ein hohler Kupferring befestigt, der mit drei Wasserzuleitungen und an der Innenseite mit vielen kleinen Öffnungen versehen ist. Das Wasser spritzt durch diese Öffnungen gegen den Zylinder, läuft die Wandungen hinab und sammelt sich auf der kastenartig ausgebildeten Grundplatte, wo es durch einen Abfluß fortgeleitet wird.

Als Heizkörper dienen röhrenförmig gebogene Wolframbleche (auch Molybdänblech ist für niedrige Temperaturen schon angewendet worden) von 0,2 mm Wandstärke, 10 mm Durchmesser und 150 mm Länge. Ein solches Rohr braucht bei 2000° C 450 Ampere und 7,5 Volt. Zum Aufschmelzen der Dichtungsmassen auf der Grundplatte dienen zwei halbkreisförmig ausgebildete Gasbrenner. Eine Winde erleichtert das Auf- und Niederholen des Zylinders. Ein dünner Blechmantel, der um denselben gelegt wird, verhindert das Verspritzen von Kühlwasser. Diese Kühlung arbeitet einwandfrei. Ebenso reicht das Vakuum mit etwa 0,005 mm Hg-Druck für die meisten Versuche vollkommen aus. Mit dem Ofen sind Temperaturen bis 2500° C mühelos erreicht worden. Zwar werden die Wandungen des Heizkörpers bei längerem Gebrauch dünner, und dieser schmilzt schließlich an einer Stelle durch; jedoch hält jedes Rohr bei richtiger Anfertigung des Bleches (überall gleichmäßige Wandstärke) und gutem Ofenvakuum 50 und mehr Er-

hitzungen auf 2000° C aus, ohne sich merklich zu verändern. Den Heizstrom liefert ein Transformator (bis 1000 Ampere), der an die 220-Volt-Wechselstromleitung angeschlossen ist. Zwei Widerstände im primären Stromkreis dienen zur Regulierung des Heizstromes und damit der Ofentemperatur.

c) Vertikaler Wolframofen (Drahtgeflecht). Die Firma Siemens & Halske Akt.-Ges. hat einen Vakuumofen patentiert¹⁾, dessen Heizkörper aus Wolframdrähten besteht, deren Enden mit Kupfer umgossen sind, wodurch die Anschlußstücke gebildet werden.

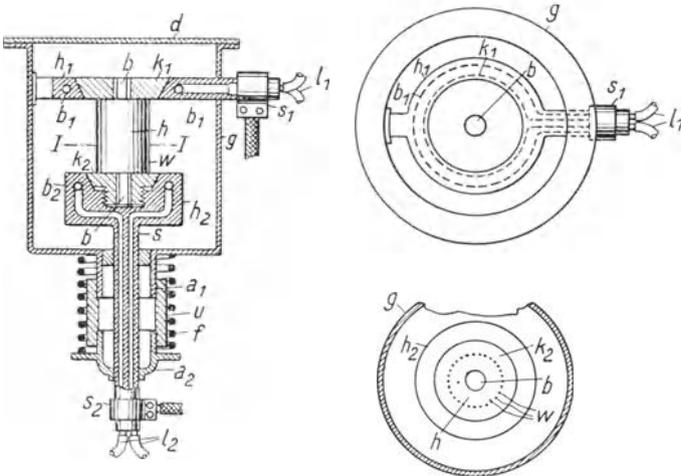


Abb. 18, 18a und b. Vertikaler Wolframvakuumofen (Drahtgeflecht).

In den Abbildungen ist ein Ausführungsbeispiel des elektrischen Ofens dargestellt, und zwar zeigt Abb. 18 einen senkrechten Schnitt, Abb. 18a einen Grundriß mit abgenommenem Deckel und Abb. 18b einen wagerechten Schnitt nach der Linie I—I in Abb. 18.

Der Heizkörper ist aus einzelnen Wolframdrähten *w* derartig zusammengesetzt, daß diese einen zylindrischen Hohlraum *h* umschließen. In diesen wird der zu glühende Körper eingebracht. Die Wolframdrähte sind an beiden Enden in je einen Kupferklotz *k*₁*k*₂ eingelassen, der je mit einer mittleren Bohrung *b* für das Einbringen des zu glühenden Körpers versehen ist.

¹⁾ D. R.-P. Nr. 414747, Kl. 21 h, Gr. 15.

Die Vereinigung der Wolframdrähte mit den Kupferklötzen wird zweckmäßig in der Weise hergestellt, daß die Drähte in eine Gießform, beispielsweise aus Kohle oder Graphit, eingesetzt werden, und dann die Form mit flüssigem Kupfer ausgefüllt wird.

Die Stromzuführung zu den Kupferklötzen $k_1 k_2$ erfolgt in dieser Weise: Die Klötze sind an der Außenfläche genau konisch gearbeitet. Der obere Klotz legt sich mit seiner konischen Fläche gegen eine entsprechende konische Ausdrehung eines Halters h_1 , der in dem den Ofen enthaltenden Vakuumgefäß g befestigt ist. Der Halter ist durch die Wandung dieses Gefäßes herausgeführt, wo er in geeigneter Weise durch eine Schelle s_1 mit einer kräftigen Stromzuführung verbunden ist. Er ist ferner mit Kanälen b_1 versehen, die möglichst dicht die konische Fläche umgeben und an eine Kühlwasserleitung l_1 angeschlossen sind. Über die konische Ringfläche des unteren Kupferklotzes k_2 wird ein zweiter Halter h_2 mit einer entsprechenden Aussparung geschoben und mit dem Kupferklotz durch Verschraubung fest verbunden. Der Halter h_2 ist mittels eines Stieles s in den Bodenteil des Gefäßes g geführt. Auch dieser Halter ist mit Kühlkanälen b_2 versehen, die außerhalb des Gefäßes an eine Kühlwasserleitung angeschlossen sind. Der Stiel s dient auch zum Anschluß des zweiten Poles der Stromquelle, der ebenfalls mittels einer Schelle s_2 erfolgen kann. Zwischen dem Gefäßboden und einem am Stiel s vorgesehenen Teller a_2 ist eine Feder f angeordnet, die den unteren Halter h_2 und den Heizkäfig w abwärts und den oberen Kupferklotz k_1 fest gegen den oberen Halter h_1 drückt. Dadurch ist für die Stromzu- und Stromabführung ein guter Kontakt in den konischen Flächen gewährleistet. Die Wasserkühlung sorgt für einen dauernden guten Zustand des Kontaktes.

Das Gefäß g ist an der Oberseite mit Hilfe eines Deckels d verschlossen, der zum Einbringen des Ofens in das Gefäß dient und luftdicht befestigt werden kann. Da der Stiel s für den unteren Halter h_2 in dem Boden des Gefäßes verschiebbar herausgeführt ist, ist ein besonderer luftdichter Abschluß für diesen vorgesehen. Dies geschieht, um die Dichtung zwischen den Anschlußflächen an den Klotz k_1 zu ermöglichen und dabei auch ein gewisses Spiel für die Ausdehnung der Ofenstäbe w zu schaffen. Der luftdichte Abschluß besteht aus einem Ansatz a_1 an dem Boden des Vakuumgefäßes g und einem glockenartigen, mit dem Teller a_2 versehenen Ansatz an dem Stiel, die beide durch einen sehr starken Gummischlauch u miteinander verbunden sind.

d) Vertikaler Wolframrohrföfen (Massivrohr). Für Ver-
suche mit solchen Metallen, die leicht oxydieren, wie Tantal, Thorium,
Zirkon und andere schwer schmelzbare Metalle, wurde ein Ofen gebaut,
der ein Vakuum bei 3000° C von etwa $5 \cdot 10^{-3}$ mm Hg halten sollte.

Der Ofen, Abb.19, ein Wolfram-
massivrohrföfen, erfüllte diese Forderung. Das Sinter-
gut wurde in dem Wolfram-
rohr so aufgehängt, daß es
die Wandungen nicht berühren
konnte, und keine Legierung
des Gutes mit dem Wolfram
eintrat.

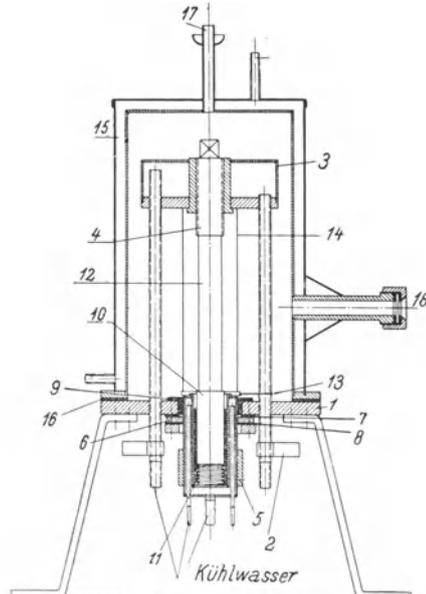


Abb. 19. Vertikaler Wolframrohrföfen
(Massivrohr).

Die Bodenplatte 1 trägt
die eine Stromzuföhrung 2.
Diese wird aus vier wasser-
geköhlten Röhren gebildet, die
in der Bodenplatte 1 hart ein-
gelötet sind und Köhlkammer 3
tragen. In dieser ist die
Kontaktklemme 4 ein-
geschraubt, die entweder je
nach Gebrauch als Klemme
oder als Druckschraube, wie
die Abbildung zeigt, ausge-
bildet ist. Als untere Strom-
zuföhrung ist ein wasser-
geköhlter Behälter 5 elektrisch isoliert durch die Bodenplatte 1 geföhrt.

Dies wird erreicht, indem man zwischen der Bodenplatte 1 und dem

Tabelle 4.

Heizkörper	Gas- isolation	Erreichte Temperatur °C	Wattverbrauch		Watt- verbrauch Beheizte Innen- fläche (W/cm ²)
			Volt	Amp.	
Wolframrohr: Massiv, Länge: 95 mm. Außen- durchmesser: 11,5 mm. Wandstärke: 0,75 mm.	Vakuum	1000	1	230	8
		1500	2	360	24
		2000	3,6	636	77
		2500	6	975	196
		3000	10	1085	364

Behälter 5 einen Luftspalt stehenläßt. An dem Behälter 5 ist ein Ring 6 fest angelötet. Zwischen diesem und dem Boden liegt, zwischen zwei Gummischeiben isoliert, die Bleipackung 7, durch Ring 8 mit Klingerit auch von 6 isoliert, wird der Behälter von vier Schrauben gegen die Grundplatte gedrückt. Die Bodenplatte 1 und der Ring 6 sind an der Auflagefläche der Bleipackung zum Erzeugen einer besseren Dichtung mit Rillen versehen. Damit in den Luftspalt zwischen 1 und 5 keine Fremdkörper hereinfallen können und Kurzschluß bilden, ist dieser mit einem Schieferring 9 ausgefüllt. Im Behälter 5 schwimmt in Quecksilber der verchromte Kupferklotz 10, unter den zum Erhalten eines besseren Auftriebes und Kontaktes eine Stahlspiralfeder 11 gelegt ist. Das Wolframrohr 12 wird durch den Auftrieb gegen die obere Kontaktklemme 4 gedrückt. Das Quecksilber ist zum Verhüten von Verdampfen durch das Strahlungsblech 13 zugedeckt, auf diesem ruht das Molybdänblech 14. Über das Ganze ist die wassergekühlte Glocke 15 gestülpt. Die Gummipackung 16 ist die Dichtung zwischen Rezipient und Teller, 17 der Vakuumstutzen. Das Schauglas 18 dient zum Messen der Temperatur des Ofens.

Zweiter Abschnitt.

1. Öfen mit Wolframheizkörper auf keramischer Unterlage.

Als Einleitung zu diesem Abschnitt sollen einige keramische Erfahrungen, die beim Ausarbeiten der Öfen gesammelt wurden, vorausgeschickt werden.

Keramische Massen für Öfen bis 1550° C.

Es zeigte sich, daß es nur möglich war, die Temperaturen der Öfen zu steigern, wenn man die keramischen Körper, die den Heizraum bilden, aus den reinsten und hochschmelzendsten Oxyden herstellte. Diese Oxyde müssen gleichzeitig einen geringen Ausdehnungskoeffizienten haben, damit sie ein schnelles Variieren der Temperatur vertragen. Außerdem muß ihr Dampfdruck so niedrig sein, daß ihre Dämpfe bei der in Frage kommenden Temperatur auf das Wolfram keinen schädlichen Einfluß ausüben. Für den angegebenen Temperaturbereich der Öfen kamen nur Rohre entweder aus den D-Massen der „Staatlichen Porzellanmanufaktur Berlin“ oder aus der Allitmasse der „Gebrüder Siemens, Berlin-Lichtenberg“ zur Verwendung. Die Rohre besitzen eine große Porosität, die für eine gute Gasspülung der Öfen von großer Wichtigkeit ist. Der Schmelzpunkt liegt bei etwa 1850° C. Die Massen,

die verhältnismäßig wenig Kieselsäure enthalten und größtenteils aus geschmolzener Tonerde bestehen, sind gegen Temperaturwechsel infolge ihres niedrigen Ausdehnungskoeffizienten sehr widerstandsfähig [Wärmeausdehnungskoeffizient (linear) $a \cdot 10^6 \cdot 25$ bis $900^\circ 7,1$]¹⁾.

Keramische Massen für Öfen bis 1800°C .

Für diese Öfen, bei denen die von der Füllmasse begrenzte Höhlung selbst als Heizraum diente, wurde geschmolzene Tonerde verwendet. Aus solcher (Korafin, Alundum), Schmelzpunkt etwa 2000°C , ließen sich bei richtigem Korngrößenverhältnis [90 % Nr. 150 und 10 % Nr. 200]²⁾ sehr gut Körper stampfen und bei 1500°C klingend brennen. Sie hatten bis zu 1800°C keine Schwindung und konnten deswegen bis zu diesen Temperaturen verwendet werden. Die Gegenstände waren wenig empfindlich gegen Temperaturwechsel und zersetzten sich nicht in reduzierender Atmosphäre.

Keramische Massen für Öfen bis 2650°C .

Zum Bau von Öfen für Temperaturen bis 2650°C kam, wie die Untersuchungen ergaben, nur Zirkonoxyd wegen seines hohen Schmelzpunktes (2725°C) und seines geringen Ausdehnungskoeffizienten [linear, $a \cdot 10^6 \cdot 25$ bis $800^\circ \text{C } 6,6$]³⁾ in Frage. Zur Feststellung der Eigenschaften des Zirkonoxyds bei hohen Temperaturen in reduzierender Atmosphäre wurden einige Sinterversuche gemacht und die Struktur an Schliffen der erhaltenen Proben mikroskopisch untersucht. Die Sinterkörper bestanden aus gepreßten Zirkonoxydstäben von $5 \times 5 \times 50 \text{ mm}$.

a) Zirkonoxyd zuerst im Gebläseofen bei 1350°C geglüht, danach bei 1350°C in Formiergas: Sinterkörper sehr feinkristallinisch.

b) Zirkonoxyd zuerst im Gebläseofen bei 1350°C geglüht, danach bei 1800°C in Formiergas: Stellenweise durchscheinend, Rest wie bei a).

c) Zirkonoxyd zuerst im Gebläseofen bei 1350°C geglüht, danach bei 2000°C in Formiergas: Fortschreiten des Prozesses unter b).

d) Zirkonoxyd zuerst im Gebläseofen bei 1350°C geglüht, danach bei 2100°C in Formiergas: Weiteres Zunehmen des Seigervorganges. Die durchscheinenden Teilchen haben Meniskusform.

¹⁾ Saunders, Trans. Amer. Elektrochem. Soc. **19**, 333.

²⁾ Von der Firma Moyat & Co., Elektroschmelze Berlin-Lichtenberg.

³⁾ Jordan, Peterson, Phelps, Amer. Electrochem. Soc., Okt. 1926.

e) Zirkonoxyd zuerst im Gebläseofen bei 1350° C gegläht, danach bei 2200° C und höher in Formiergas: Auftreten einer deutlichen Kristallausbildung, die Kristalle sind scharfkantig begrenzt und von sehr verschiedener Größe. Dazwischen liegt die Grundmasse des durchscheinenden Körpers, die mit steigender Sintertemperatur an Menge abnimmt.

f) Zirkonoxyd zuerst im Gebläseofen bei 1350° C gegläht, danach bei 2625° C in Formiergas: Es tritt ein plötzlicher Unterschied der Färbung auf, die vermutlich von einer Reduktion herrührt.

Von den sämtlichen Sinterkörpern wurden spezifische Gewichtsbestimmungen gemacht, die bei der Temperatur von 2100° C aufwärts im Mittel 5,78 ergaben.

Das spezifische Gewicht von geschmolzenem Zirkonoxyd ist nach O. A. Hougen 5,8¹⁾.

Demnach müßte die Hauptschwindung bei der Sintertemperatur von 2100° C beseitigt sein. Die spezifischen Gewichtsbestimmungen für noch höhere Temperatur ergaben keine höheren Werte. Aus den Strukturuntersuchungen ist wohl zu schließen, daß das Zirkonoxyd erst nahe bei seinem Schmelzpunkt von den reduzierenden Gasen chemisch verändert wird.

Auf Grund dieser Ergebnisse wurde das zu verwendende Zirkonoxyd im Kohlerohofen bis 2100 bis 2200° C vorgeglüht. Zur Entfernung möglicherweise hineingekommener Kohlepartikeln bzw. zur Vermeidung von Reduktionswirkungen mußte das Oxyd im Gebläseofen bis 1500° C oxydierend nachgegüht werden. Darauf wurde es mit einem Zusatz von 10 % ungeglühtem Zirkonoxyd („grüne Masse“), dann mit 15 % Wasser als Bindemittel, nach dem Stampfverfahren²⁾, zu den für die Öfen in Frage kommenden Körpern gestampft. Nach dreitägigem Lufttrocknen konnten die Stampfkörper im Laufe von 6 Stunden im Gebläseofen bei 1500° C klingend gebrannt werden. Auch für Öfen bis 2200° C, bei denen die Füllmasse selbst als Heizraum diente, wurde das im Kohlerohofen erhitze und darauf oxydierend geglühte Zirkonoxyd verwendet.

a) Rohofen mit Wolframdrahtwicklung.

Der Ofen besteht (s. Abb. 20) aus einem zylindrischen Blechmantel 1 und zwei an den Stirnseiten angebrachten Metallscheiben 2,

¹⁾ Chem. and Met. Eng. 30, 738—741, 1924.

²⁾ Das Stampfen geschah, indem das mit Wasser angefeuchtete Zirkonoxydpulver mit Hilfe eines Pistills schichtenweise in die entsprechende Form eingestampft wird.

auf denen zwei Rohrstützen 3 befestigt sind. In diesen beiden Rohrstützen ist das Heizrohr 4 zentral so eingelagert, daß es vorn im Kasten fest eingekittet ist. Der Wolframheizdraht 5 ist an den Anschlußbacken 6, die mit Specksteinbuchsen isoliert durch das Gehäuse geführt sind, angeschlossen. Um eine gleichmäßige Temperatur auf der ganzen Rohrlänge zu erhalten, ist die Wicklungsdichte an den Enden wegen des starken Wärmeverlustes etwa je auf ein Fünftel der ganzen Rohrlänge doppelt so dicht wie in der Mitte gewählt. Die Ganghöhe der Bewicklung

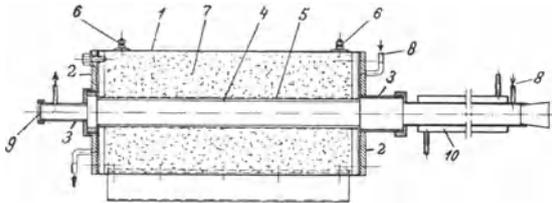


Abb. 20. Rohröfen mit Wolframdrahtwicklung.

ist in der Mitte 0,8, an den Enden 0,4 cm. Dasselbe Verhältnis gilt für sämtliche später zu beschreibende bewickelte Öfen. Zum Vermindern der Wärmestrahlung wird das Gehäuse um das Rohr mit Kieselgur oder Kaolin 7 gefüllt. Die Außenseite ist mit einem Aluminiumbronzeanstrich versehen. Da das Gehäuse beim Betrieb von einem Schutzgas durchspült wird, muß es gasdicht sein, damit es beim Gebrauch unter Druck steht und das Schutzgas (s. S. 1) von der Füllmasse 7 nach dem Rohrrinnern strömen kann. Überdies wird das Rohr in seiner

Tabelle 5.

Heizkörper	Gas- isolation	Erreichte Temperatur °C	Wattverbrauch		Watt- verbrauch Beheizte Innen- fläche (W/cm ²)
			Volt	Amp.	
Heizrohr: Allit- oder D-Masse. 50 × 60 × 630 mm. Draht: Wolf- ram, 0,85 mm Ø ¹⁾ . Gang- zahl: 60 doppelte Gänge. Bewickelte Länge des Rohres: 500 mm.	Formiergas 300 l/h	1000	50	11	0,7
		1100	60	12	0,9
		1200	62	13	1,0
		1300	70	15	1,3
		1450	97	16	2,0

¹⁾ Es kann bei diesem Ofentyp auch Molybdändraht verwendet werden.

Längsrichtung vom Schutzgas durchströmt¹⁾. 9 ist ein Schauglas zur Beobachtung des erhitzten Gutes und 10 ein Kühler. In diesen kann das Gut nach dem Erhitzungsprozeß geschoben werden, um es abzukühlen, ohne den Ofen ausschalten zu müssen. Beim Einschalten muß der Ofen 10 Minuten mit Schutzgas vorgespült werden, wonach er im Laufe einer Stunde auf Höchsttemperatur gebracht wird. Die Abkühlung nach Gebrauch unter Beibehaltung des Schutzgasstromes dauert etwa 3 Stunden. Bei vorschriftmäßiger Behandlung erreichen diese Art Öfen eine Lebensdauer von 200 bis 300 Tagen zu je 8 Stunden. Die Tabelle unter der Abbildung bringt die Daten des Ofens.

b) Rohrofen mit rechteckigem Querschnitt und etwas kleineren Dimensionen als unter a) (Abb. 21).

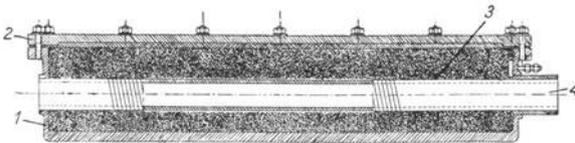


Abb. 21. Ofen mit rechteckigem Querschnitt.

Der Ofen besteht aus einem vierkantigen gußeisernen Gehäuse 1 mit Deckel 2. In dem Gehäuse ist das mit Wolframdraht bewickelte Heizrohr 3, wie bei Abb. 20, in den eingeschraubten Rohrstützen 4 gelagert. Er wird, wie der vorher beschriebene Ofen, mit Kühler und Schauglas versehen.

Tabelle 6.

Heizkörper	Gas- isolation	Erreichte Temperatur °C	Wattverbrauch		Watt- verbrauch Beheizte Innen- fläche (W/cm ²)
			Volt	Amp.	
Heizrohr: Allit oder D-Masse. 26 × 32 × 630 mm. Draht: Wolf- ram. 3 × 0,4 mm Ø. Gangzahl: 75. Be- wickelte Länge des Rohres: 500 mm.	Formiergas 300 l/h	1000	68	9	1,5
		1100	75	10	1,8
		1200	85	11	2,3
		1300	95	11,5	2,7
		1450	105	12	3,1

¹⁾ Als Vorteil erweist sich, wenn die zur Verwendung kommenden Röhre sehr porös sind.

c) Bündelrohröfen¹⁾

mit einem keramischen Träger für die Heizwicklung, der mehrere rohrförmige Durchbohrungen in symmetrischer Anordnung enthält.

Dieser Ofen eignet sich besonders für die gleichzeitige Erhitzung mehrerer Körper auf dieselbe Temperatur, wenn diese Körper einzeln bequem zugänglich sein sollen, wie beispielsweise zur Sinterung von Formkörpern aus hochschmelzenden Metallpulvern oder bei deren mechanischer Bearbeitung. War es erforderlich, gleichzeitig mehrere Preß- oder Sinterstäbe zu erhitzen, so wurden bisher mehrere Öfen (z. B. nach Abb. 20) durch Aufeinanderstellen zu einer Ofenbatterie vereinigt. Der neue Ofen bezweckt also, in solchen Fällen gleichmäßige Ofentemperaturen bei größerer Wirtschaftlichkeit des Betriebes erzielen zu können. Hier wird ein aus hochfeuerfestem Material bestehender, mit mehreren bündelartig zueinander angeordneten Durchbohrungen versehener Körper durch eine einzige um ihn gelegte Heizdrahtwicklung geheizt. Dadurch können alle Hohlräume des Ofenkörpers gemeinsam und gleichmäßig erhitzt werden. Die größere Wirtschaftlichkeit liegt bei dieser Bauart in der verminderten Wärmeableitung. Bisher war beispielsweise zum Erhitzen eines Wolframsinterstabes von $7 \times 7 \times 300$ mm Kantenlänge bei 1350°C ein Strombedarf von etwa 1,2 kW nötig. Demgemäß war für 7 solcher Stäbe in einer Ofenbatterie (aus Öfen Abb. 21) ein Strombedarf von etwa 8,4 kW erforderlich.

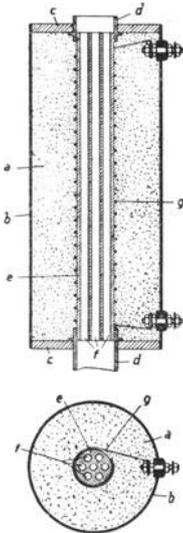


Abb. 22.
Bündelrohröfen.

Der neue Ofen, mit einer Heizdrahtwicklung und sieben von dieser gemeinsam erhitzten Ofenkammern ausgestattet, hat einen Strombedarf von nur etwa 2 bis 2,5 kW. Weitere Vorteile liegen auch in einem verringerten Raumbedarf und darin, daß es leichter gelingt, mehrere Preßkörper oder Sinterstäbe auf genau gleiche Temperaturen zu erhitzen und auf dieser zu halten als bei Verwendung mehrerer Öfen. Es ist im letzteren Falle unvermeidlich, daß die einzelnen Öfen trotz gleicher Betriebsbedingungen doch gewisse, wenn auch nur geringe Temperaturunterschiede aufweisen. Wie aus

¹⁾ D. R.-P. bereits angemeldet.

Tabelle 7.

Heizkörper	Gas- isolation	Erreichte Temperatur °C	Wattverbrauch		Watt- verbrauch Beheizte Innen- fläche (W/cm ²)
			Volt	Amp.	
Heizrohr: Allit- oder D-Masse. Außendurch- messer des Rohres: 90 mm, mit 7 Löchern von 22 mm Ø versehen. Draht: Wolfram, 2 × 1 mm, 1 × 0,6 mm Ø. Gangzahl: 57 dreifache Gänge. Be- wickelte Länge des Roh- res: 510 mm.	Formiergas 300 l/h	1000	50	16	0,3
		1100	60	18	0,4
		1200	72	21	0,6
		1300	85	23	0,8
		1450	100	25,5	1,0

der Abbildung zu sehen ist, ist im übrigen das Ofengehäuse, die Wärmeisolation und die Einbauart dieselbe wie bei den vorbeschriebenen Rohröfen.

Die sämtlichen Rohröfen werden seit Jahren in der Glühlampenindustrie betriebsmäßig verwendet.

2. Wolframwendel- und Staböfen¹⁾.

Bei elektrischen Öfen mit Heizdrahtwicklung ist es von großer Wichtigkeit, daß der Heizdraht vor der Berührung mit dem Sintergut geschützt ist, und trotzdem die von ihm entwickelte Wärme auf dem kürzesten Wege und verlustlos auf das Sintergut überträgt. Diesen Anforderungen entsprachen die bisher verwendeten Rohröfen nicht in vollem Maße. Der Temperaturabfall durch die Rohrwandung beträgt über 100° C. Man muß daher, um die erforderliche Temperatur im Rohrrinnern zu erreichen, mit der des Heizdrahtes viel höher gehen, unter Umständen bis zur Weichheitsgrenze des Rohres, wodurch das Rohr von der umliegenden Füllmasse eingedrückt wird. Oder es entsteht zwischen den Windungen des Heizdrahtes Elektrolyse, die zum Durchbrennen des Rohres führt.

Diese Nachteile wurden beseitigt, als wir dazu übergingen, die Füllmasse selbst als Wand des Heizraumes zu verwenden, die den Heizdraht in Gestalt einer Schraubenwindung auf ihrer Innenfläche trägt.

¹⁾ Zeitschr. f. techn. Phys. Nr. 3, S. 119—122, 1927.

Zu diesem Behufe wurde eine Schraube aus Aluminium hergestellt und auf der Spitze des Gewindes dem Lauf dieser Spitze eine Nut (Abb. 23) eingedreht.

In diese Nut wird nun der Heizdraht gelegt, mit der Schraube in das Metallgehäuse gestellt und in den Zwischenraum Füllmasse gestampft, während der Heizdraht durch den eigenen Drall so in der Füllmasse liegen bleibt, daß sich Wicklung und Ofenmasse je für sich ausdehnen können.

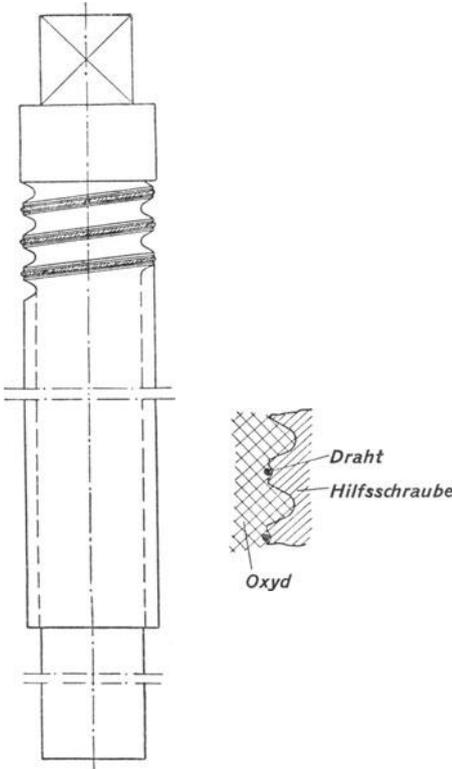


Abb. 23. Hilfsschraube.

Auch beim Betrieb kann sie weder lossacken noch Kurzschluß bilden. Der so hergestellte Ofenraum wird nunmehr mit Hilfe der Heizspirale getrocknet und gebrannt. Als Füllmasse dürfen nur solche Oxyde verwendet werden, die einen geringen Ausdehnungskoeffizienten haben und vor dem Gebrauch so hoch gesintert wurden, daß sie bei der Ofenbetriebstemperatur keine Schwindung mehr aufweisen. Demnach kommen hauptsächlich nur zwei Oxyde in Frage:

a) Für Öfen bis 1800° C geschmolzenes Aluminiumoxyd (Korafin).

b) Für Öfen bis 2200° C hochgeglühtes Zirkonoxyd (s. unter Keramik).

Brennt der Wolframdraht durch, so wird das Oxyd herausgenommen, von Draht und Schlackenresten gereinigt und wie beschrieben neu gestampft.

Es werden die folgenden vier Ofentypen dieser Art beschrieben (Abb. 24 bis 26).

a) Wolframwendelofen mit Wasserkühlung.

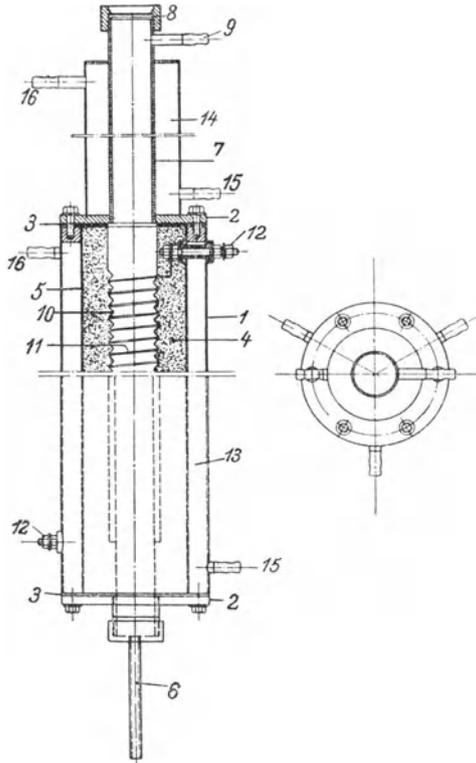


Abb. 24. Wolframwendelofen mit Wasserkühlung.

Tabelle 8.

Heizkörper	Gas- isolation	Erreichte Temperatur °C	Wattverbrauch		Watt- verbrauch Beheizte Innen- fläche (W/cm ²)
			Volt	Amp.	
Eingestampfte Heizwick- lung: 2 parallele Wolfram- drähte, Ø 0,8 mm, 31 Gänge. Länge d. Heiz- zone 500 mm, Innendurch- messer 46 mm. Füllmasse: Zirkonoxyd.	Formiergas 300 l/h	600	35	34,8	1,7
		1150	70	34,8	3,4
		1700	110	38	5,8
		2000	129	39,5	7,1
		2200	152	40,5	8,5

Der dargestellte Ofen besteht aus einem zylindrischen Metallgehäuse 1, an dessen beiden Enden Abschlußplatten 2 unter Zwischenschaltung von Klingeritdichtungen 3 befestigt sind. Im Innern ist das Gehäuse mit einer feuerfesten Auskleidung 4 aus Zirkonoxyd versehen, die die zylindrische Ofenkammer 5 einschließt. An dem einen Ende der Ofenkammer ist ein Anschlußstutzen 6 angebracht, durch den das Schutzgas beim Betriebe des Ofens einströmt. Am anderen Ende schließt sich an die Ofenkammern ein Rohr 7 von annähernd gleichem Durchmesser an, das nach außen durch ein Beobachtungsglas 8 abgeschlossen ist. Der Abfluß des Schutzgases erfolgt durch einen am Rohr 7 angebrachten seitlichen Stutzen 9.

Die Innenwandung der feuerfesten Auskleidung 4 ist, wie in der allgemeinen Beschreibung dieser Art Öfen mitgeteilt, zu dem Innengewinde 10 ausgebildet. In dessen vertieften Gewindegängen liegt die schraubenförmige Heizdrahtwicklung 11, vorzugsweise aus Wolframdraht. Die Enden der Wicklung 11 sind an zwei im Gehäuse 1 isoliert eingesetzten Elektroden 12 befestigt. Sowohl das Ofengehäuse 1 wie auch das Rohr 7, das die Fortsetzung der Ofenkammer bildet und beim Betrieb sehr heiß wird, sind mit Kühlmänteln 13 bzw. 14 umkleidet. Der Zu- und Abfluß des Kühlwassers erfolgt durch Stutzen 15 bzw. 16.

Die Einbringung der in den Gewindegängen unverrückbar eingelagerten Heizdrahtwicklung 11 geschieht nun unter Zuhilfenahme der beschriebenen Hilfsschraube Abb. 23. Diese wird mit dem umwickelten Heizdraht in das leere Ofengehäuse 1 so eingesetzt, daß das untere Kernkörperende in die gleich groß bemessene Bohrung der unteren Abschlußplatte 2 und des Abschlußstutzens 6 eintritt. Um den dadurch in Stellung gehaltenen Kernkörper wird nun angefeuchtetes Auskleidungsmaterial geschüttet und schichtenweise fest eingestampft. Darauf werden die Enden der Heizdrahtwicklung 11 mit den Elektroden 12 verbunden. Dieses läßt sich leicht bewerkstelligen, wenn an den betreffenden Stellen die Auskleidungsmasse etwas gelockert und darauf wieder nachgestampft wird. Man kann aber meistens auch sofort nach dem Einsetzen des Kernkörpers die Heizdrahtwicklung mit den Elektroden verbinden und dann erst die Auskleidungsmasse einbringen und feststampfen. Der Kernkörper wird darauf durch Aufsetzen eines Schlüssels auf den Vierkantkopf (s. Abb. 23) herausgeschraubt.

b) Wolframwendelvakuumofen.

Abb. 25 stellt denselben Ofen wie Abb. 24, aber für Vakuumbetrieb vor. Um eine Stromdurchführung durch das Gehäuse zu vermeiden

und dadurch eine bessere Abdichtung des Ofens zu bekommen, wurden die Endabschlußplatten 2 isoliert auf den Ofenkörper gesetzt und gleichzeitig als Stromzuführung ausgebildet. Dies geschah, indem wir den Befestigungsbolzen durch Fiberbuchsen isoliert durch die Abschlußplatten 2 führten. Zwischen Abschlußplatten und Gehäuse wurden Gummischeiben 3 als Dichtung angebracht.

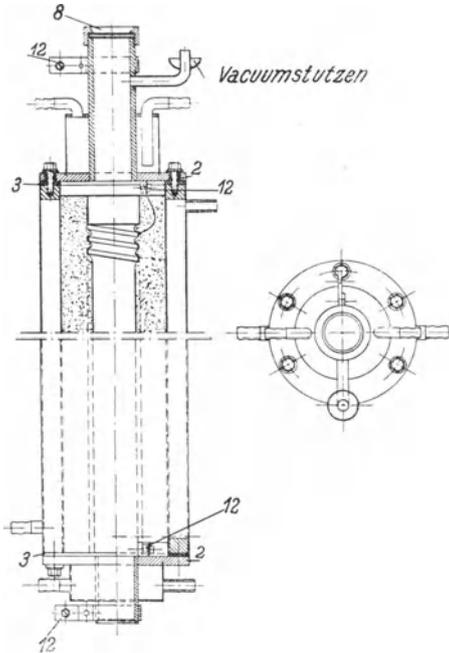


Abb. 25. Wolframwendelvakuumofen.

Tabelle 9.

Heizkörper	Gas- isolation	Erreichte Temperatur °C	Wattverbrauch		Watt- verbrauch Beheizte Innen- fläche (W/cm ²)
			Volt	Amp.	
Wie Ofen Abb. 24, für Vakuum gebaut.	Vakuum	1325	50	18	1,3
		1550	80	19	2,1
		1800	90	21	2,6
		2000	110	22	3,4

c) Wolframwendelofen ohne Wasserkühlung,
bis 1800° C verwendbar.

Bei horizontaler Verwendung des Ofens wird zum Schutze der Gewindespitzen der Füllmasse und gleichzeitiger Vermeidung von Kurzschluß bei Durchschieben von Metallkörpern ein Schiffchen aus Allit- oder D₄-Masse eingelegt.

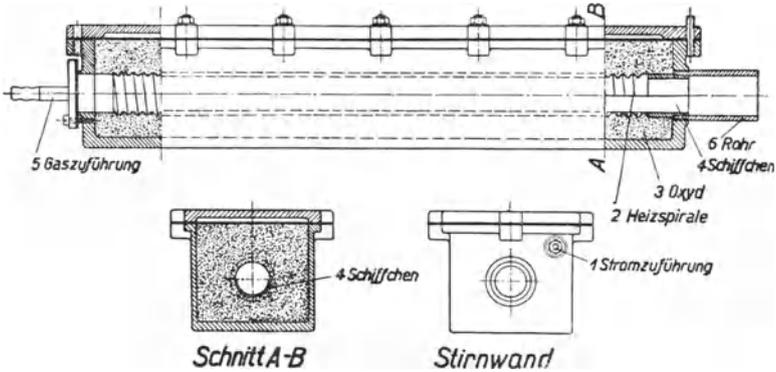


Abb. 26. Wolframwendelofen ohne Wasserkühlung.

Tabelle 10.

Heizkörper	Gas- isolation	Erreichte Temperatur °C	Wattverbrauch		Watt- verbrauch Beheizte Innen- fläche (W/cm ²)
			Volt	Amp.	
Eingestampfte Heizwick- lung: 2 parallele Wolfram- drähte, Ø 0,6 mm, 45 Gänge. Heizzone: Länge 500 mm, Innen- durchmesser 39 mm. Füll- masse: Aluminiumoxyd.	Formiergas 300 l/h	1000	40	16	1,1
		1600	125	21,5	4,4
		1800	170	23,0	6,4

d) Wolframwendelmuffelofen ohne Wasserkühlung,
bis 1650° C ausprobiert.

Der ohne Wasserkühlung gebaute Ofen nach Abb. 27 ist mit einer prismatischen Ofenkammer *a* versehen. Auch bei diesem Ofen ist die Heizdrahtwicklung *b* in die vertieften Gewindgänge eines in der Auskleidung *d* angebrachten Innengewindes *k* eingelegt. Zur Einbringung

der Heizdrahtwicklung wird in diesem Falle der in den Abb. 27 a und 27 b gezeigte Kernkörper benutzt. Dieser besteht aus vier eine zentrale Bohrung einschließenden Backenteilen $\nu^1, \nu^2, \nu^3, \nu^4$, um deren oberes und unteres Ende je ein Ring w gelegt ist. Durch die Mittelbohrung erstreckt sich eine Spindel x mit Rechts- und Linksgewinde, auf deren Gewindeteile zwei Preßmutter y aufgeschraubt sind. Wird die Spindel so gedreht, daß sich die Preßmutter zueinander bewegen, so werden die Backenteile $\nu^1, \nu^2, \nu^3, \nu^4$ fest gegen die Ringe w gepreßt und damit untereinander zu einer Einheit verbunden.

In diesem Zustand des Kernkörpers kann dann das Auflegen der Heizdrahtwicklung b und das Einbringen des Kernkörpers in das Ofengehäuse erfolgen. Auf den Bodenteil des letzteren wird dabei zweckmäßig ein Unterstütsungsstein z gelegt, der eine mittlere Bohrung aufweist, die größer ist als die untere Preßmutter y des Kernkörpers. Nachdem die

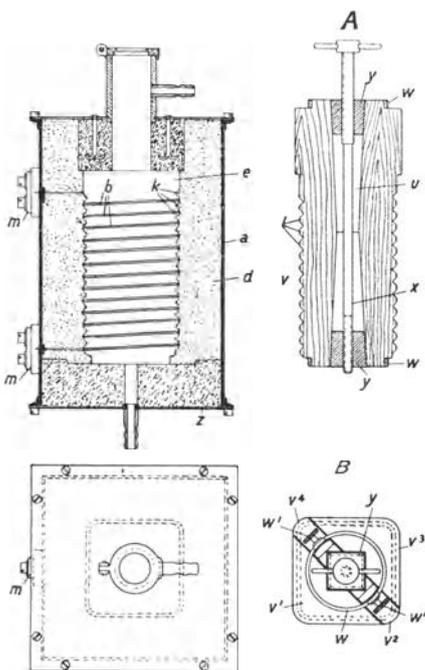


Abb. 27. Wolframwendelmuffelofen ohne Wasserkühlung.

Tabelle 11.

Heizkörper	Gas- isolation	Erreichte Temperatur °C	Wattverbrauch		Watt- verbrauch Beheizte Innen- fläche (W/cm ²)
			Volt	Amp.	
Eingestampfte Heizwick- lung: 2 parallele Wolfram- drähte, Ø 0,63 mm, 16 Gänge. Heizzone: 100 × 100 × 200. Füll- masse: Aluminiumoxyd.	Formiergas 300 l/h	1350	123	25	3,1
		1500	130	27	3,5
		1650	138	29	4,0

Auskleidungsmasse eingestampft und die Wicklung b an den Elektroden m festgelegt ist, wird zwecks Entfernung des Kernkörpers vorerst die Spindel x in entgegengesetzter Richtung gedreht. Dies geschieht so lange, bis die obere Preßmutter von der Spindel x losgeschraubt und in die Bohrung des Unterstützungssteines bzw. auf den Boden des Ofengehäuses gefallen ist. Die Spindel x mit der noch aufgeschraubten oberen Preßmutter y wird dann nach oben aus dem Kernkörper herausgezogen. Darauf wird der Ofen umgelegt und die Bodenplatte z desselben abgeschraubt, um nach Entfernung des eingelegten Unterstützungssteines und der abgefallenen unteren Preßmutter bequem an das untere Ende des Kernkörpers heranzukommen. Nun werden durch Drehung der am oberen und unteren Spannring w angebrachten Schrauben w^1 die schmalen Zwischenbacken v^2 und v^4 so weit gegeneinander bewegt, daß sie vom Innengewinde der Auskleidung freikommen und nach oben aus der Ofenkammer herausgezogen werden können. Die noch verbleibenden größeren Backenteile v^1 und v^3 können nun unter Abhebung von dem Innengewinde gegeneinander bewegt und ebenfalls aus der Ofenkammer bequem herausgezogen werden. Darauf wird der Bodenteil des Ofens mit der noch fehlenden Auskleidung versehen und die Bodenplatte z wieder befestigt. Auch dieser Ofen kann je nach Erfordernis mit Gaszu- und Gasabführung oder Vakuumanschluß versehen werden.

e) Wolframstabofen. Nach Le Rossignol.

Abb. 28 zeigt den Ofen im senkrechten Schnitt und Abb. 28a fertig aufgebaut in der heutigen Ausführung.

Der dargestellte Ofen besteht aus einem zylindrischen Metallgehäuse 1, das von einem Kühlmantel 2 umschlossen und an beiden Stirnseiten mit Abschlußplatten 3 versehen ist. In den beiden Abschlußplatten sind die wassergekühlten Stromzuführungen 5 und 6 zentral und koaxial gelagert. Der Heizkörper ist an seinen beiden Enden auf den Außenflächen der Elektrodenrohre durch die Schellen 8 befestigt. Die Abschlußplatten und damit die Stromzuführungen sind durch Gummischeiben und Fiberbuchsen vom Ofengehäuse isoliert. Um dem Heizkörper beim Glühen eine Ausdehnungsmöglichkeit zu geben, die bei 2600° C etwa 20 mm beträgt, lagert die obere Stromzuführung 5 lose in der Abschlußplatte 3, die mit einem Kragen 9 versehen ist. Zur Abdichtung des Ofens wird ein Gummischlauch über 5 und 9 gezogen, der durch eine Ausbauchung eine Vertikalbewegung bis 30 mm zuläßt. Die Stromzuführungsschienen 10 hängen der Beweglichkeit halber in

wassergekühlten und innen mit Eisen ausgekleideten Kupfertöpfen 11, die mit Quecksilber gefüllt sind. Die Kupfertöpfe sind direkt an den Transformator angeschlossen. Bei den neuesten Ausführungen des Ofens sind die Töpfe zur Beseitigung des Quecksilbers durch flexible Kupferbänder ersetzt. Als

Strahlungsschutz für den Heizkörper 7 dienen Ringe aus hochgeglühtem Zirkonoxyd¹⁾, die zwischen Heizkörper 7 und Ofengehäuse 1 so gelagert sind, daß der Heizkörper immer einen Abstand von wenigstens 5 mm vom Oxyd hat. Der Heizkörper besteht aus einem Geflecht von 138 Wolframdrähten mit 0,7 mm Durchmesser, die, wie die Abbildung zeigt, um eine Wendel aus 3 mm starkem Wolframdraht gelegt sind. Um ein Durchsacken der Wendel bei hoher Temperatur zu vermeiden, wird sie durch 6 in gleichen Abständen angebrachte parallele Wolframdrähte von 0,7 mm Durchmesser gehalten. Die Halterdrähte laufen dem Heizrohr entlang und sind an den Berührungsstellen mit der Wendel um diese in einer Schlinge herumgelegt. Das Schauloch 13 besteht aus einem Wolframrohr, das isoliert durch das Ofengehäuse und Zirkonrohr bis an den Heizkörper geführt ist. Es dient zur Beobachtung des Sintervorganges im Ofen. Im Heizkörper muß zu diesem Zwecke durch Auseinanderbiegen der Wolframstäbe eine Öffnung gemacht werden. Als Ausgleichsgewicht für Heizkörper mit Stromzuführungen dient Gewicht 14 (s. Abb. 28 a), das am Gestänge 15 über Rollen gelagert ist.

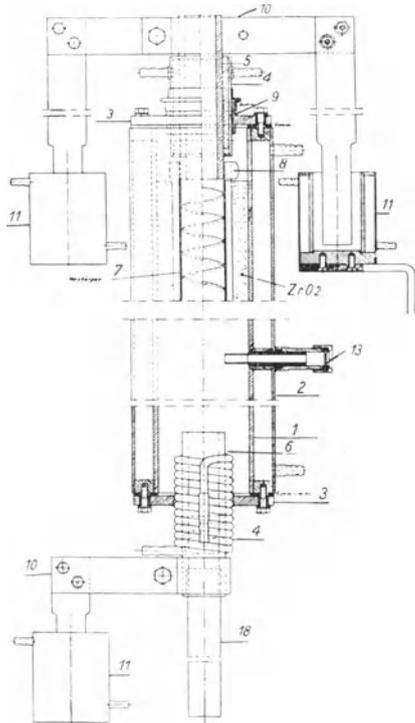


Abb. 28. Wolframstabofen nach Le Rossignol.

als Ausgleichsgewicht für Heizkörper mit Stromzuführungen dient Gewicht 14 (s. Abb. 28 a), das am Gestänge 15 über Rollen gelagert ist.

¹⁾ Nach dem Stampfverfahren hergestellt und etwa 15 cm hoch.

Tabelle 12.

Heizkörper	Gas- isolation	Erreichte Temperatur °C	Wattverbrauch		Watt- verbrauch ¹⁾ Beheizte Innen- fläche (W/cm ²)
			Volt	Amp.	
Ofenkörper: Heizrohr aus 138 Wolframstäben von 0,75 mm Ø zusamme- gesetzt und innen durch eine Wolframdrahtwendel von 3 mm Ø gestützt, von Wolframwolle umgeben. Länge d. Heizzone 480 mm. Außendurchm. 35 mm, Innendurchm. 33,5 mm.	Formiergas oder H ₂ 330–400 l/h	1000	2	825	3,3
		1500	4	1000	7,9
		2000	7	1250	17,3
		2500	10	1425	28,2
		2650	11	1550	34

Der Ofen ist, wie Abb. 28a zeigt, oben mit Verschlußmutter 17 und unten mit dem Abgasrohr 18 versehen und wird von oben nach unten mit Schutzgas gespült. Es ist bei dieser Konstruktion nur möglich, das Sintergut von unten in den Ofen hineinzuziehen. Es geschieht durch eine Wolframstange von 1,5 mm Durchmesser, die in das Rohr 19 hineingezogen werden kann und unten einen Haken zum Anhängen des Sintergutes hat. Rohr 19 ist in die Elektrode eingeschraubt und dient als Gaszuführungsrohr. Die Wolframstange ist wieder an einem 0,8 mm dicken Wolframdraht 20 hart angelötet, der über die Rolle 21 geführt und durch eine Schnur mit der Hand betätigt wird. Als Abdichtung gegen die Atmosphäre dienen Aluminium-Oxyd-Düsen, die so gearbeitet sein müssen, daß zwischen ihnen und den Gleitdrähten ein so geringer Spielraum bleibt, daß ein Ausströmen von Gas oder Hineinsaugen von Luft nicht möglich ist.

Der Arbeitsvorgang ist folgender: Das Schutzgas wird durch den Stutzen 22 und das Rohr 19 in den Ofen geleitet. Nach 5 Minuten Spülzeit wird das Gas am Rohrstutzen 18 angezündet, der Ofen eingeschaltet und auf Rotglut gebracht. Darauf wird der Ofen durch die Stellschrauben 23 genau senkrecht gestellt, damit die Wolframstange und auch das Sintergut nach dem Hereinziehen mitten in der Ofenkammer hängen und nicht die Wandung berühren können. Die Temperaturmessung und ständige Beobachtung der Vorgänge im Ofen

¹⁾ Die Messungen sind mit Formiergasspülung ausgeführt.

werden durch einen an Rohr 18 angebrachten Spiegel ermöglicht. Bei Temperaturmessungen ist das Reflexionsvermögen des Spiegels zu berücksichtigen. Bei Dauerbetrieb wird zweckmäßig an Stelle von Rohr 18 ein Kühler ähnlich wie an Ofen Abb. 20 angebracht. Abb. 28a zeigt auch das Schaltungsschema für zwei Öfen. Die beschriebene

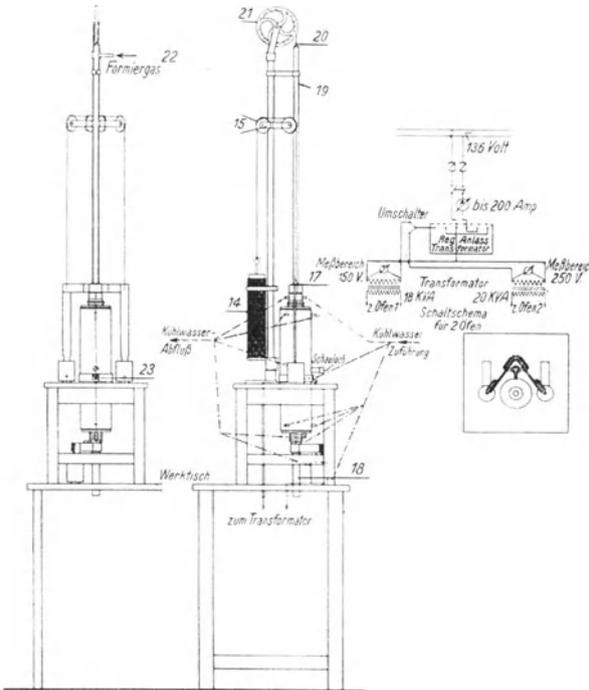


Abb. 28 a.

Konstruktion ermöglicht bei dem Ofen eine Lebensdauer von 3 Monaten bei 2600° C Betriebstemperatur. Die Höchsttemperatur des Ofens beträgt 2650° C. In seiner ursprünglichen Form hatte der Ofen bei 2400° C schon eine beschränkte Lebensdauer. Es lag daran, daß die Füllmasse lose um den Heizkörper geschüttet war. Bei hoher Temperatur wird der Heizkörper weich und dann von der umliegenden schweren Füllmasse eingedrückt und zerstört.

Dritter Abschnitt.

Energiebedarf und Berechnung der Öfen.

Für die Berechnung des Energiebedarfs von Öfen mit keramischen Massen wird mit Vorteil eine Tabelle 13 von Pirani und Lax¹⁾ verwendet.

Tabelle 13.

W = Watt pro Quadratcentimeter beheizte Fläche bei mittelguter Wärmeisolation.
 t = Temperatur Grad Celsius.

W	t	W	t
0,8	600	4,5	1600
1,3	800	5,7	1800
1,9	1000	7,0	2000
2,6	1200	11,0	2500
3,5	1400		

Die Zahlen sind nach den Verfassern für eine mittelgute Isolation, wie sie z. B. ein auf 1000° C erhitztes Rohr von 20 mm Durchmesser hat, welches von einer Kieselgurschicht von 3 cm umgeben ist, als maßgebend angesehen. Eine Verbesserung der Isolation ist für niedrigere Temperatur möglich, bis 1400° C z. B. auf ein Viertel der angegebenen Werte. Dagegen sind für hohe Temperaturen die Werte nicht viel zu verkleinern, im Gegenteil, meist werden sie höher liegen. Kennt man außerdem den spezifischen Widerstand des Heizkörpers bei der betreffenden Temperatur, so läßt sich beispielsweise für einen Röhrenofen für jede gegebene Spannung die Länge und Dicke ausrechnen, wenn man die Wicklungsdichte (also die Länge des Heizkörpers) vorschreibt. Die hierzu notwendigen Angaben sind in Tabelle 14¹⁾ angegeben.

Tabelle 14.

Material	Schmelzpunkt °C	Indiff. Atm.	Brauchsbarkeitsgrenze °C	Spezifischer Widerstand ²⁾						Bezugsquelle
				kalt	1000°	1500°	2000°	2500°	3000°	
Wolfram	3390	H ₂	3000	0,055	0,33	0,49	0,69	0,90	1,1	} Osram-Komm. Ges.
Molybdän	2570	H ₂	2200	0,055	0,25	0,33	0,61	0,79	—	

¹⁾ Metalltechn. Kalender Gürtler 1925, S. 325—334.

²⁾ Bezieht sich auf den Widerstand eines Drahtes von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt.

In den Kurven, Abb. 29, ist der Wattverbrauch der Öfen (Watt pro Quadratcentimeter) über Temperatur °C im Koordinatensystem logarithmisch aufgetragen. Man sieht aus den Kurven, wie sie im Verhältnis zu der Kurve der oben erwähnten mittelguten Wärmeisolation liegen. Interessant ist, zu beobachten, wie nach Kurve 4 des Bündelofens durch Zusammendrängen der Heizrohre der Energieverbrauch auf ein Minimum herabgesetzt werden kann. Zu gleicher Zeit sieht man, wie durch Verwendung von geeignetem Wärme- und Strahlungsschutz der Energieverbrauch nur etwa ein Zehntel beträgt von dem Energieverbrauch ohne Wärme- und Strahlungsschutz (s. Kurve 10 und 12 bzw. 10 und 13, 14). Aus den Kurven ist auch ersichtlich, daß beim Arbeiten mit Formiergas seines Stickstoffgehaltes und geringerer Wärmeleitfähigkeit wegen der Verbrauch an W/cm² etwa 10% niedriger liegt als beim Arbeiten mit Wasserstoff. Aus den obigen Kurven läßt sich nun der Energieverbrauch von ähnlichen Öfen annähernd berechnen. Dies ist besonders beim Bauen von Wolframrohröfen notwendig, um eine Überlastung der Stromquelle zu vermeiden. An folgenden Beispielen sollen die Berechnungen gezeigt werden. Diese sind, da es sich um Überschlagsrechnungen handelt, abgerundet.

a) Ein Röhrenofen soll einen inneren Durchmesser von 50 mm (Außendurchmesser 60 mm) und eine gleichmäßige Glühzone von 500 mm Länge haben. Bei Höchsttemperatur von 1500° C muß die Spannung 90 Volt betragen. Schutzgas ist Formiergas, 3001/h.

Die innere Heizfläche beträgt $\pi \cdot 5 \cdot 50 = 785 \text{ cm}^2$. Aus Kurve 2 ist zu extrapolieren, daß der Wattverbrauch pro Quadratcentimeter bei 1500° C mit Formiergasspülung 2,2, der Gesamtverbrauch also $785 \cdot 2,2 = 1725 \text{ Watt}$ beträgt. Die Stromstärke ist $1725 : 90 = 19,2 \text{ Amp.}$ und der Widerstand **4,7 Ohm**. Zur Erhaltung einer gleichmäßigen Temperatur auf der ganzen Glühzone ist die Wicklungsdichte an den Enden wegen des starken Wärmeverlustes etwa je ein Fünftel Länge doppelt so dicht wie in der Mitte zu wählen. Die Ganghöhe ist in der Mitte 1 cm, an den Enden 0,5 cm, Windungszahl also **60**. Die Materiallänge ist gleich $60 \cdot \pi \cdot 6 = 11,3 \text{ m}$. Widerstand pro Meter **0,42 Ohm**. Der spezifische Widerstand von Wolfram pro Meter bei 1500° C beträgt 0,49, von Molybdän 0,33; der hier in Frage kommende Durchmesser für Wolfram **1,2 mm (2 · 0,87)** und für Molybdän **1,0 mm (2 · 0,71)**. Erfahrungsgemäß ist es aber von Vorteil, bei der Wahl der Drähte mit dem Querschnitt immer höher zu gehen, da ein allmähliches Abtragen durch Oxydation unvermeidlich ist. Ein Ofen, der mehrere Monate in Betrieb war, zeigt ganz andere Daten, als wenn er neu ist. Es empfiehlt

sich mitunter, an Stelle eines Drahtes mehrere nebeneinander liegende zu verwenden. Wenn ein Draht durchbrennt, wird der übrige ganzgebliebene immer noch die Möglichkeit bieten, den Ofen bei anderen Strom- und Spannungsbedingungen weiter zu verwenden.

b) Es soll ein Wolframrohrfen mit Wärmeisolationsschutz aus porösem Wolframmetall wie in Abb. 11, S. 15 gebaut werden. Das Wolframrohr hat eine Wandstärke von 1 mm, lichte Weite 30 mm, Außendurchmesser 32 mm und eine Länge von 550 mm. Die erwünschte Höchsttemperatur ist 3000° C. Als Gasschutz dient Formiergas, 300 l/h. Nach Langmuir ist der spezifische Widerstand des gezogenen Wolframs bei 3000° C 1,1. Der mittlere Wattverbrauch ist nach den Kurven 12 und 13 (Abb. 29) zu 75 W/cm² einzusetzen.

$$\text{Querschnitt} = \frac{\pi}{4} (32^2 - 30^2) = 80 \text{ mm}^2.$$

$$\text{Oberfläche} = \pi \cdot 30 \cdot 55 = 520 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Wattverbrauch} = 520 \cdot 75 = 39000 \text{ Watt.}$$

$$\text{Widerstand} = \frac{1,1 \cdot 0,55}{80} = 7,57 \cdot 10^{-8} \text{ Ohm.}$$

$$\text{Amp.} = \sqrt{\frac{39 \cdot 10^3}{7,57 \cdot 10^{-3}}} = 2,27 \cdot 10^3 = 2270 \text{ Amp.}$$

$$\text{Volt} = \frac{39000}{2270} = 17,2 \text{ Volt.}$$

Daß die Energieverhältnisse hier etwas anders liegen als bei den gefundenen (s. Tabelle 3, S. 16), liegt daran, daß bei gepreßtem und hochgesintertem Wolfram der spezifische Widerstand bei 3000° C nur etwa 0,8 beträgt.

Bei der Ausarbeitung der Konstruktionen bin ich von Herrn Arthur Ewald und bei der praktischen Ausführung von Herrn Kurth Schmidt unterstützt worden. Ich nehme hier die Gelegenheit wahr, ihnen dafür meinen Dank auszusprechen.

Anhang.

Einige elektrische Öfen besonderer Art.

Da bei verschiedenen elektrischen Öfen für sehr hohe Temperaturen, bei denen Wolfram nicht gerade als Heizkörpermaterial verwendet wird, dieses Material dennoch in irgend einer Form, sei es als Tiegel, Elektrode oder dergleichen, eine gewisse Rolle spielt, sollen hier auch einige Öfen Aufnahme finden, zumal der Verwendungszweck vielfach derselbe ist wie bei den bisher beschriebenen Öfen.

1. Hochfrequenzöfen.

Die ersten Ansätze, die Energie hochfrequenter Wechselfelder für die Erhitzung von Metallen zu verwenden, gehen auf die Anfänge der Hochfrequenztechnik zurück¹⁾. Bereits 1905 erwirkte die Soc. Schneider, Creusot, ein französisches Patent unter dem Titel: Elektrischer Induktionsofen für hochfrequente Ströme²⁾, das eine vollständige Beschreibung eines Hochfrequenzofens enthält. Bei diesem ist die Ofenspule aus einzelnen Kupferringen aufgebaut, die durch ein isolierendes Spansschloß zusammengehalten werden und so gleichzeitig die Armierung des Ofens bewirken. Die Stromleitung erfolgt durch Überbrückungen, welche die Ringenden zu einer fortlaufenden Spirale verbinden. Das Patent läßt die Frage der verwendeten Hochfrequenzstromquelle offen, auch sind praktische Ergebnisse nicht bekannt geworden. Im gleichen Jahre erhielt O. Zander³⁾ ein schwedisches Patent, in dem vorgeschlagen wird, einen Tiegel unmittelbar in eine Spule zu setzen und den Inhalt durch Wirbelströme zu erhitzen; auch die Versuche führten nicht zu praktischen Ergebnissen. Sodann unternahm 1906 I. Hårdén⁴⁾ Versuche zur Erhitzung von Metallen mittels Teslaströmen, die ihren Niederschlag in einer englischen Patentanmeldung fanden. Der geringe Wirkungsgrad und die hohen Anschaffungskosten lassen die praktische Verwendbarkeit zweifelhaft erscheinen. Schließlich sind italienische Patente von Jacoviello⁵⁾ aus dem Jahre 1911 zu erwähnen, die sich im wesentlichen mit Verbesserungen der Hochfrequenzenerzeugung mittels Löschfunkenstrecke befassen, daneben aber auch den Gedanken der Erwärmung von Metallen berühren.

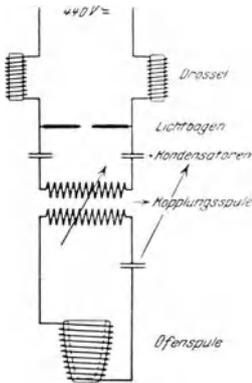


Abb. 30. Schaltung von Debuch-Lorenz.

Metallen mittels Teslaströmen, die ihren Niederschlag in einer englischen Patentanmeldung fanden. Der geringe Wirkungsgrad

und die hohen Anschaffungskosten lassen die praktische Verwendbarkeit zweifelhaft erscheinen. Schließlich sind italienische Patente von Jacoviello⁵⁾ aus dem Jahre 1911 zu erwähnen, die sich im wesentlichen mit Verbesserungen der Hochfrequenzenerzeugung mittels Löschfunkenstrecke befassen, daneben aber auch den Gedanken der Erwärmung von Metallen berühren.

a) A. Debuch unternahm in Verbindung mit der C. Lorenz A.-G., Berlin-Tempelhof, 1912 bis 1913 umfassendere Schmelzversuche mit

¹⁾ Wever und Fischer, Mitt. d. Kaiser Wilhelm-Instituts f. Eisenforschung, Abh. 69, 1926.

²⁾ Franz. Pat. Nr. 361627 vom 13. Juli 1905.

³⁾ I. Hårdén, Tekn. Tidskr. 1923, Nr. 5.

⁴⁾ Derselbe, a. a. O.

⁵⁾ M. G. Ribaud, Techn. mod. 15, 225, 1923.

Hochfrequenzströmen. Bei diesen Versuchen wurde ein schwingungsfähiges System aus Induktivitäten und Kapazitäten durch einen Poulsen-Lichtbogengenerator zu hochfrequenten Schwingungen angeregt; mit diesem System war der eigentliche Ofenkreis induktiv gekoppelt (Abb.30). Innerhalb der Ofenspule war ein Tiegel gut isoliert aufgestellt, dessen Inhalt von etwa 20 g Zinn oder Zink in weniger als 2 Minuten zum Schmelzen gebracht werden konnte.

Trotz der erreichten Erfolge, die den beschrittenen Weg als aussichtsreich erscheinen ließen, blieben die Bemühungen Debuchs um eine Wiederholung in größerem Maßstabe ergebnislos, bis ihnen der Kriegsausbruch ein Ende setzte.

b) Im Jahre 1916 nahm E. F. Northrup¹⁾ im Laboratorium der Universität Princeton Schmelzversuche auf, bei denen eine Funkenstrecke zur Erzeugung der erforderlichen hochfrequenten Ströme benutzt wurde. Diese Versuche führten im Verlaufe der nächsten Jahre zur Ausbildung betriebsmäßiger Apparaturen, deren Vertrieb die 1920 gegründete Ajax Electrothermic Corporation, Trenton, N. J., übernahm. Die von Northrup²⁾ benutzte Schaltung ist in Abb.31 schematisch wiedergegeben. Die Netzspannung wird in einem eisengeschlossenen Transformator auf etwa 6000 bis 8000 Volt übersetzt; an den Transformator-

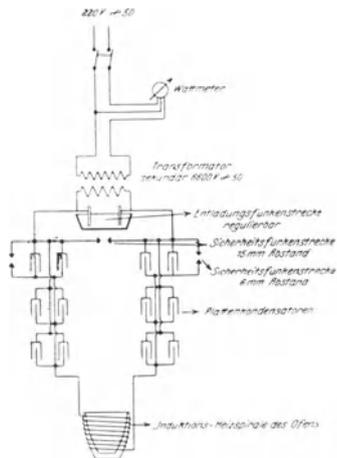


Abb. 31. Schaltung von Northrup.

klemmen liegt der Hochfrequenz-Schwingungskreis mit der Ofenspule als Induktivität und Kondensatoren, die sich über eine Parallelfunkenstrecke entladen. Dabei wird die Frequenz der entstehenden gedämpften Schwingungen durch die wirksamen Größen von Selbstinduktion und Kapazität im Schwingungskreis bestimmt. Sie bewegt sich in der Größenordnung von etwa 10^4 bis 10^6 Hertz. Die Funkenstrecke besitzt

¹⁾ E. F. Northrup, Chem. Met. Engg. **17**, 685, 1917; Trans. Faraday Soc. **13**, 213, 1917; Chem. Met. Engg. **19**, 155, 1918.

²⁾ E. F. Northrup, Iron Age **103**, 1294, 1919; Trans. Amer. Electrochem. Soc. **37**, 69, 1919; ebenda **39**, 331, 1921; Chem. Met. Engg. **24**, 1097, 1921; Journ. Frankl. Inst. **195**, 665, 1923.

in der ursprünglichen Anordnung Kohleelektroden gegen Quecksilber, in das Entladungsgefäß wird Alkohol eingetropt; in den neueren Anlagen sind die Kohleelektroden durch gekühlte Kupferstäbe ersetzt. Die primäre Energieaufnahme wird lediglich durch den Elektrodenabstand der Funkenstrecke geregelt; für die Überwachung ist ein Wattmeter vorgesehen. Die Ofenspulen sind aus flach gewalztem Kupferrohr gewickelt und werden während des Betriebes mit Wasser gekühlt; eine sehr häufig verwandte Spule besitzt 42 Windungen aus abgeflachtem Rohr von ursprünglich 1 cm Durchmesser bei einer Höhe von 23 cm und einem lichten Durchmesser von 10,5 cm.

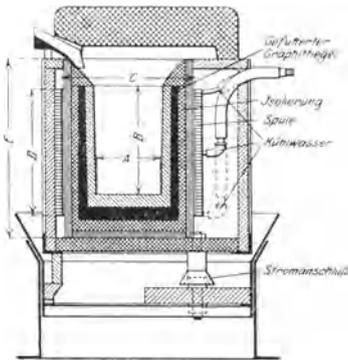


Abb. 32. Hochfrequenzofen nach Northrup.

c) In Abb. 32 ist ein Tiegelofen wiedergegeben, der zum Vergießen des Einsatzes mit Handhaben versehen wird. Die Schmelzanlagen der Ajax Electrothermic Co. werden bis zu 20 kW Netzaufnahme für Einphasenwechselstrom gebaut; darüber hinaus werden bis zu 60 kW Dreiphasenöfen mit drei Funkenstrecken und einer in Dreiecksschaltung gewickelten Ofenspule angeboten.

Nach einer früheren Mitteilung Northrups¹⁾ können in der erwähnten kleinen Spule mit der 20-kW-Anlage etwa 2,5 kg Elektrolyt-eisen geschmolzen werden, auch soll es möglich sein, den Schmelzpunkt des Molybdäns zu erreichen.

d) Unabhängig von Northrup begann 1920 M. G. Ribaud²⁾ in Straßburg mit Versuchen, bei denen eine rotierende Funkenstrecke benutzt wurde. Die Schaltung, Abb. 33, enthält einen Stufentransformator zur Regelung der Eingangsspannung, einen Transformator 120/12000 Volt mit einer veränderlichen Drossel und den Schwingungskreis mit Kondensatoren, einer gekühlten, rotierenden Funkenstrecke und der Ofenspule. Die Einstellung der aufgenommenen Leistung erfolgt im Gegensatz zu Northrup ohne Eingriff in den Hochfrequenzkreis lediglich mit Hilfe des Eingangstransformators und der Drossel. Nach Ribaud erreicht die Anlage mit 20 kW primärer Leistung **3000°**

¹⁾ E. F. Northrup, Trans. Amer. Electrochem. Soc. **39**, 344, 1921.

²⁾ M. G. Ribaud, Techn. mod. **15**, 828, 1923.

bei einem Graphittiegel von 60 cm^3 Inhalt und 2000° bei 500 cm^3 Tiegelinhalt. Über eine praktische Auswirkung der Versuche Ribauds über den Rahmen seines Laboratoriums hinaus ist bisher nichts bekanntgeworden. Neben Ribaud hat sich in Frankreich noch R. Dufour¹⁾ mit dem Studium der Hochfrequenz-Induktionsöfen beschäftigt.

e) Eine von der Firma C. Lorenz A.-G., Berlin-Tempelhof, erbaute Schmelzeinrichtung des Kaiser Wilhelm-Instituts für Eisenforschung²⁾ ist die erste in Europa aufgestellte Anlage mit Maschinengenerator und eine der ersten dieser Art überhaupt; sie hat sich in einem nunmehr nahezu 2 Jahre ununterbrochenen Betriebe in jeder Hinsicht ausgezeichnet bewährt. Die Anlage ist mit einer Hochfrequenzmaschine, Abb. 34, Bauart Lorenz-Schmidt, ausgerüstet, die bei 2590 Umdrehungen pro Minute Wechselstrom von 6900 Hertz liefert; die maximale Belastung bei 350 Volt beträgt 110 Amp. gleich 38,5 kVA. Die Maschine wird durch einen Gleichstrom-Nebenschlußmotor der Deutschen Elektrizitätswerke, Harbe, Lahmeyer & Co. A.-G., Aachen, von 440 Volt und 150 Amp. angetrieben. Die Umdrehungszahl wird durch einen Fliehkraftregler, der die Felderregung des Motors steuert, in sehr engen Grenzen konstant gehalten. Die Gesamtverluste des Aggregats bei Leerlauf und voller Erregung des Hochfrequenzgenerators betragen 12,33 kW; der Gesamtumformerwirkungsgrad erreicht bei einer maximalen Netzaufnahme von 45 kW den sehr hohen Betrag von nahezu 70%. Der Leistungsfaktor an der Maschine folgt daraus zu etwa 0,85.

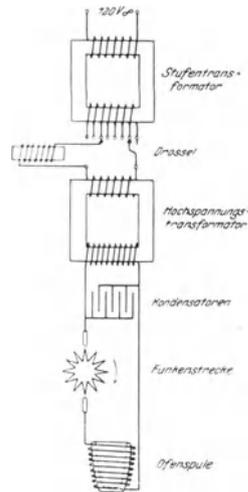


Abb. 33. Schaltung nach Ribaud.

Die Anlage ist nach der kombinierten Strom-Spannungsresonanzschaltung aufgebaut (Abb. 35). Nach dieser ist der Ofen L, R mit der Kapazität C nur angenähert in Spannungsresonanz, jedoch so, daß der resultierende Widerstand des Zweiges C, L, R kapazitiv bleibt. Mit dieser resultierenden Kapazität ist die veränderliche Zusatzspule L_p in Stromresonanz. Das Verhältnis der Transformation ist durch das

¹⁾ R. Dufour, C. R. 176, 828, 1923.

²⁾ F. Wever, Stahl u. Eisen 46, 533, 1926.

Verhältnis von L_p zu L bestimmt und daher mit L_p veränderlich; die Abstimmung des Ofenkreises wird durch die Kapazität C geregelt. Mit dieser Schaltung kann daher sowohl die Abstimmung als auch die

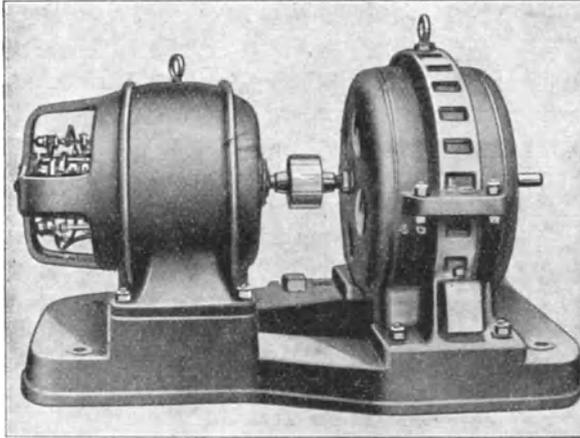


Abb. 34. Hochfrequenzmaschine, Bauart Lorenz.

Anpassung des Nutzwiderstandes an den Generator erfolgen; d. h. auch bei starken Änderungen der Ofenimpedanz kann der Generator dauernd phasenrein und voll belastet werden.

Die angegebene Schaltung hat sich für Laboratoriumsöfen und vor allem für Eisenschmelzen, bei denen die Schwankungen in der Ofenimpedanz infolge der Permeabilitätsänderungen besonders stark sind,

als sehr vorteilhaft erwiesen. Die Parallelinduktivität besteht aus einem Kugelvariometer, dessen Bereich durch eine feste Spule mit 19 Windungen aus Kupferrohr von 82 cm Spulendurchmesser und 115 cm Höhe vergrößert werden kann. Die Kapazität besteht aus 60 Glimmerkondensatoren der Bauart Lorenz von je

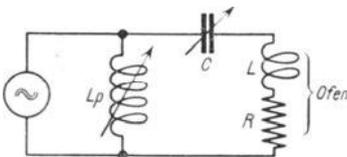


Abb. 35. Stromspannungsresonanzschaltung.

90000 cm für 600 Volt; diese können beliebig in Gruppen zusammengefaßt werden. Die Grobabstimmung des Ofenkreises erfolgt durch Zuschalten von Kondensatoren, für die Feinabstimmung ist ein weiteres Kugelvariometer in den Ofenkreis gelegt. Abb. 36 zeigt die

Aufstellung der Anlage zusammen mit einem kleineren Aggregat von 8 kW Generatorleistung, das nach den gleichen Grundsätzen gebaut ist.

Der gewöhnlich benutzte Ofen besitzt eine Spule aus Kupferrohr von ursprünglich 20 mm Durchmesser, das auf 10 mm flachgedrückt ist; die Ofenspule hat 23 Windungen bei 250 mm Höhe und einen mittleren Durchmesser von 360 mm. Sie wird während des Betriebes mit Wasser gekühlt, die Isolation gegen das Ofenfutter wird durch einen

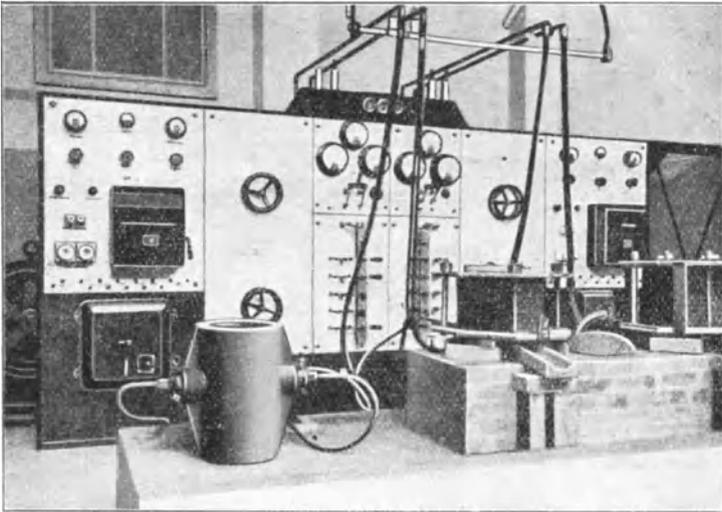


Abb. 36. Aufbau von Hochfrequenzanlagen, Kaiser Wilhelm-Institut für Eisenforschung.

Zylinder aus Asbestpappe von etwa 8 mm Stärke bewirkt. Der Herd wird nach einer Blechlehre aus geeigneten basischen oder sauren Massen aufgestampft, er besitzt bei einem mittleren Durchmesser von 225 mm eine Höhe von etwa 240 mm und wird während des Schmelzens mit einem Deckel aus Schamotte verschlossen.

Aus dem Bedürfnis des Metallforschungslaboratoriums nach einem handlichen Schmelzofen für Einsätze von einigen hundert Gramm heraus ist von der C. Lorenz A.-G., Berlin-Tempelhof, auch ein Kleingerät entwickelt, das mit einer Hochfrequenzmaschine von 3 kW bei 8000 Perioden und 150 Volt Klemmenspannung ausgerüstet ist.

Bei dieser Anlage werden nur der Maschinensatz, Netzschalter und Anlasser fest eingebaut, während die gesamte Hochfrequenzapparatur

in einem fahrbaren Ofentisch zusammengefaßt ist. Dadurch wird die Möglichkeit gewonnen, den Ofen bequem an allen Stellen im

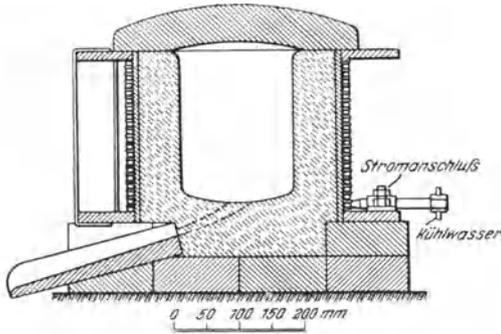


Abb. 37. Hochfrequenzofen des Kaiser Wilhelm-Instituts.



Abb. 38. Hochfrequenz-Laboratoriumsofen, Bauart Lorenz.

Laboratorium zu verwenden. Die Abstimmorgane sind in einem Kasten unter der Tischplatte untergebracht: auf der Tischplatte aus Marmor befinden sich nur die Instrumente für Maschinenspannung, Maschinen-

strom und Ofenstrom und die Ofenspule selbst. Die Schaltung entspricht der Abb. 35; die Abstimmung der Kapazität erfolgt in Stufen, das Parallelvariometer wird durch ein Handrad bedient. Die Ofenspule besteht aus dünnem Kupferrohr von 5 mm Durchmesser und ist mit Kühlwasseranschluß versehen.

Ungefähr gleichzeitig mit den ersten Berliner Versuchen setzten auch in Amerika Bemühungen ein, entsprechend früheren Anregungen Northrups, den Maschinengenerator für den Hochfrequenz-Schmelzbetrieb nutzbar zu machen. Es ist der General Electric Co. gelungen, Maschinengeneratoren bis zu 600 kW Leistung und 500 Hertz nach Northrup¹⁾ zu bauen.

f) Dieselbe Firma hat einen Hochfrequenzofen für hohe Temperaturen zum Patent²⁾ angemeldet, der seiner sauberen Ausführung wegen beachtenswert ist und in Abb. 39a und 39b in skizzenmäßigen Ansichten gezeigt wird.

Der Ofen besteht aus einer Wolframheizwendel 1, die das Schmelz- oder Sintergut umschließt, welches in einem Tiegel oder auf einer Platte 2 sich befindet. Durch die Heizwendel zirkulieren Hochfrequenzströme von etwa 100000 Perioden. Der Tiegel und die Platte bestehen z. B. aus Thoriumoxyd, das den hohen Temperaturen, die während der Versuche herrschen, noch am besten widersteht, ohne sich zu zersetzen und das Sinter- oder Schmelzgut zu

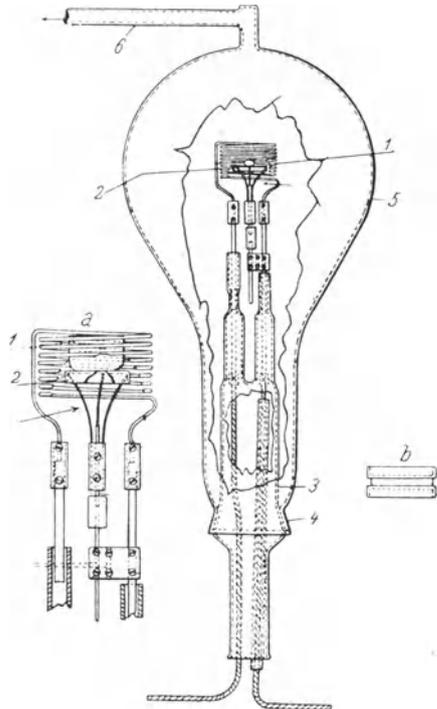


Abb. 39. Hochfrequenzofen¹⁾nach General Electric Co.

¹⁾ E. F. Northrup, Journ. Frankl. Inst. 201, 240, 1926.

²⁾ Engl. Pat. Nr. 245414, 1926.

verunreinigen. Der Ofen mit Halter ist auf einem Glühlampenfuß 3 montiert, der mit Schliff 4 versehen ist. Über das Ganze wird der Kolben 5 gestülpt, dieser besitzt einen zu 4 passenden Schliff und wird durch Stutzen 6 evakuiert. Die Schliffe gestatten ein leichtes Auseinandernehmen der Apparatur nach Beendigung des Versuches. Abb. 39a und 39b zeigen eine vergrößerte Ansicht der Heizspirale und der Heizplatte mit dem zu erhitzenden Gut. Das letztere hat die Form einer Röntgenröhrenscheibe. Die Platte zwischen Halter und Tiegel dient der Wärmeisolation.

2. Kathodenstrahlöfen.

Für manche Arbeiten physikalischer und chemischer Natur ist es erwünscht, im besten Vakuum und örtlich stark begrenzt sehr hohe Temperaturen erreichen zu können.

a) Für den Zweck eignen sich sehr gut die sogenannten Kathodenstrahlöfen, besonders dann, wenn nach dem Vorgang von H. von Wartenberg¹⁾ eine Glühkathode benutzt wird, da dann das Vakuum beliebig hoch sein kann.

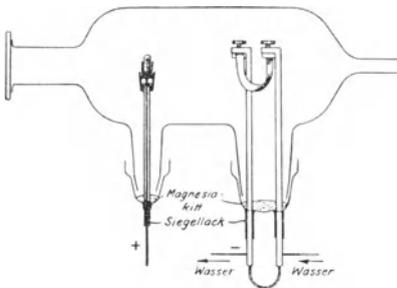


Abb. 40. Wartenbergofen.

Abb. 40 zeigt den Ofen in skizzenmäßiger Ausführung. Ein 10 cm weites Glasrohr endete einerseits an der Leitung einer Gaedepumpe, andererseits in einem Rohr mit einem mit Marineleim aufgekiteten Schauglase. Anode und Kathode ragten durch Quecksilberschliffe hinein.

Die Anodenzuführung bestand aus einem (der schlechten Wärmeleitfähigkeit wegen gewählten) 4 mm starken Eisendraht, der im Rohr durch ein übergeschobenes Glasrohr isoliert war. Oben war ein Magnesiarohr mit Wasserglas-Magnesiakitt aufgesetzt, in das verschieden lange Magnesia röhrrchen von 5 mm Weite gesteckt werden konnten, die einen 4 mm dicken Wolframstab so weit lose bedeckten, daß er nur etwa 5 mm weit herausah. Dieser Stab ruhte lose auf der Eisendrahtkuppe. Die Kathode bestand aus zwei innen von Wasser

¹⁾ Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. 40, 3287, 1907, Nr. 3.

durchflossenen Kupferröhren mit Klemmen am Ende, in die ein 1 cm breites, 6 cm langes, 0,04 mm dickes Platinblech geklemmt war, das durch wiederholtes Bestreichen mit Calciumnitrat und Ausglühen mit Kalk bedeckt war. Der Streifen wurde durch einen Transformator mit Wechselstrom von 25 Amp. und 2,5 Volt auf etwa 1300° C erhitzt. Bei dieser Temperatur vermag man 2 bis 3 Amp. pro Quadratcentimeter Kathodenoberfläche durch das Vakuumrohr zu senden, hier also 24 bis 36 Amp. An die isolierte Sekundärspule des Transformators war der -- -Pol der Lichtleitung, an die Anode der + -Pol unter Zwischenschaltung von Widerstand gelegt. Zum Gelingen der Versuche ist wesentlich, daß die einzelnen Anodenteile guten Kontakt haben.

Die Versuche gingen nun in der Weise vor sich, daß nach möglichst gutem Auspumpen (je geringer der Druck, desto besser) auf mindestens Röntgenvakuum (0,01 mm) erst das Platinblech zum Glühen gebracht und dann der Gleichstrom eingeschaltet wurde. Zunächst wurde mit etwa 1 Amp. Belastung die Anode ausgeglüht und dann unter fortwährendem Pumpen allmählich auf 10 Amp. gegangen, wobei die Anode hellweiß glühte. Durch die dabei entwickelten Gasmengen wurde der Strom mitunter intermittierend, was aber bald aufhörte. Dann wurde in 1 bis 2 Minuten auf 20 Amp. gegangen, wobei der herausragende Teil des Wolframstabes in das umhüllende Magnesiumrohr zusammensank. Es konzentrierten sich also bei der Schmelzung etwa 20 Amp. \times 40 Volt, also etwa 800 Watt, auf die Oberfläche von etwa 70 mm². Das Ende schmolz zur Kugel und verschwand in dem umhüllenden Rohre, das dabei etwas verdampfte; hierbei verkleinerte sich natürlich die wirksame Oberfläche, und das Metall geriet ins Kochen, wobei Kugeln von Wolfram herumspritzten. Es wurde deshalb rasch der Gleichstrom unterbrochen, sobald die Kugel herabschmolz. Nach dem Abkühlen wurde das Rohr geöffnet, ein kürzerer Magnesiumzylinder aufgesetzt, so daß der Stab mit der angeschmolzenen Kuppe etwa 5 mm herausragte, und dann die Kuppe weiter niedergeschmolzen, bis nach 3 bis 4 Schmelzungen schließlich eine Kugel von etwa 5 mm Durchmesser auf einem kleinen, leicht abkratzbaren Stiel von ungeschmolzenem Wolfram übrigblieb.

b) Ohne Glühkathode, dagegen mit einer der üblichen Röntgenröhrenkathoden, arbeitet Tiede¹⁾.

Abb. 41 zeigt skizzenartig die Bauart dieses Ofens. In den eisernen Sockel *f* ist der Glasschliff *g* eingesetzt. In *g* selbst ist das schraffiert

¹⁾ Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. 46, 2229, 1913, Nr. 2.

gezeichnete Messingrohr *e* eingekittet, auf welches sich die Anode, die aus Aluminium besteht, aufschieben läßt. Das Messingrohr *e* kann, wie ersichtlich, bis in den massiven Teil der Anode hinein durch eingelötete Messingröhren von fließendem Wasser durchspült, und so die

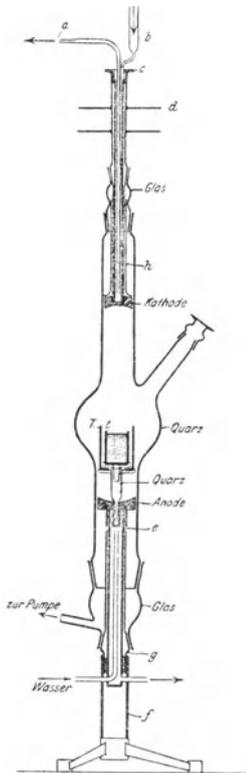


Abb. 41. Kathodenstrahlröhren nach Tiede.

Anode sehr gut gekühlt werden. Die Anode ist in der Mitte durchbohrt und trägt ein Quarzrohr von etwa 7 cm Länge und 1 cm Querschnitt, welches oben als Träger für den Schutztiegel *T*, der beispielsweise aus Porzellan gefertigt ist, ausgebildet ist. Der Abstand zwischen Anode und Tiegelboden beträgt 3 cm. *T* ist durchbohrt, durch diese Bohrung wird ein kleiner, weiterer Quarzträger geschoben, der den Tiegel *t* trägt, in dem sich die zu bearbeitende Substanz befindet. Das Hauptgefäß besteht aus einem in der Mitte zu einer Kugel aufgeblasenen Quarzrohr, welches durch den Glasschliff, der auf *g* aufgeschliffen ist, und an dem sich der Auslaß zu den Hochvakuum-pumpen befindet, getragen wird. Vermittelt zweier Glasschliffe kann oben die Kathode in das Quarzrohr eingesetzt werden. Diese besteht aus Aluminium und wird durch ein Messingrohr, das bei *c* in ein Messingrohr eingekittet ist, gehalten. Das Messingrohr kann, isoliert von der Anode, durch Wasser, welches aus dem Röhrchen *b* eintropft und durch das Glasrohr *a* abgesaugt wird, gekühlt werden. Es bewirkt, daß auch bei Dauerbeanspruchung die Kathode und damit alle oberen Schliffteile völlig kalt bleiben. *h* ist ein Schutzrohr aus Glas, das auch die Kathode auf der Oberseite umschließt. *d* sind Glasscheiben, die verhindern, daß von der bei *c* angelegten Hochspannung etwa ausgehende Gleitfunken das Rohr gefährden. Die Quarzkugel schließlich, die einen Durchmesser von 10 cm hat, ist mit einem Schaurohr zum Anvisieren der Substanz, wenn die Glocke sich etwa durch destillierende Produkte beschlagen sollte, versehen.

Es seien nun noch einige Dimensionen, die empirisch durch mühsame Versuche festgestellt wurden, und die für ein unbedingt zuverlässiges Arbeiten notwendig sind, kurz angegeben.

Das Quarzrohr hat eine Länge von 47 cm. Der Durchmesser des oberen Rohransatzes beträgt 4 cm, der des unteren 5 cm. Die Wandstärke des Quarzgefäßes ist 1,5 mm. Die Kathode hat einen Durchmesser von 35 mm, eine Höhe von 15 mm, ihr Krümmungsradius beträgt 10 cm. Die ganz flach gekrümmte Anode hat einen Durchmesser von 48 mm und ebenfalls eine Höhe von 15 mm. Der Tiegel *t* hat einen Durchmesser von 30 mm und dieselbe Höhe.

Die zur Verwendung gelangte elektrische Energie wurde in den ersten Versuchen mittels eines Induktoriums von 20 cm Schlagweite unter Benutzung eines Wehneltunterbrechers bei mittlerer Belastung von 15 Amp. erzeugt. Die Anode wurde geerdet, um schädliches Entladen nach der Gaedepumpe zu vermeiden.

c) Ein weiterer Ofen stammt von Gerdien¹⁾, dessen Versuche bis 1909 zurückgehen. Die Schwankungen des Gasdruckes, die sich besonders bei präparativen Arbeiten als lästig erweisen, wenn es gilt, aus feinpulverigem Material gepreßte Pastillen oder dergleichen zu entgasen, sind das Haupthindernis für eine Anwendung derartiger Kathodenstrahlöfen in der Praxis. Der Vereinigungspunkt des Kathodenstrahlbündels ist ganz wesentlich in seiner Lage durch die Ausbildung der negativen Glimmschicht vor der Kathode bedingt. Letztere und besonders ihre Randpartien sind stark vom Druck abhängig, so daß die Vereinigung der Kathodenstrahlen je nach dem Gasdruck in mehr oder weniger großer Entfernung vor der Kathode stattfindet. Hat man z. B. den Druck so weit erniedrigt, daß nach Anlegen der Spannung die Energie der Kathodenstrahlen gerade auf das Präparat konzentriert wird, so wird die weitere Energiezufuhr schon durch geringe, bei der Erhitzung frei werdende Gasmengen stark herabgesetzt, da der Konvergenzpunkt der Kathodenstrahlen sich sofort verlagert. Die Beobachtung der Tatsache, daß die Verlagerung des Konvergenzpunktes ganz wesentlich durch die Randpartien des negativen Glimmlichtes bedingt wird, veranlaßte Gerdien, eine Anordnung zu erproben, bei der das Präparat durch eine die Halbkugel wesentlich überschreitende, leitende Kathodenoberfläche umschlossen ist. Die Wirkungen der Randpartien gegenüber den von der Kugelkalotte ausgehenden Kathodenstrahlen können dann vernachlässigt werden. In der Tat erwies es sich als ein großer Fortschritt, daß in einer solchen Röhre innerhalb eines gewissen Druckbereiches unabhängig vom Druck die Kathodenstrahlen

¹⁾ H. Gerdien und H. Riegger, Elektrot. u. Maschinenb. **42**, 43, 1924, Heft 3; Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konzern **3**, 1923.

exakt nach dem Krümmungspunkt der Kugelkalotte laufen. Gelingt es, das Präparat genügend genau zu zentrieren, so kann man in wesentlich kürzerer Zeit entgasen und mit wesentlich kleinerem Energieaufwand die gewünschte hohe Energiedichte erzielen. Dabei wirkt, wenn man einen auf der Innenseite einer Glaskugel niedergeschlagenen Metallbelag als Kathode verwendet, die optische Konzentration eines erheblichen Teiles der vom Präparat gegen die Kugelkalotte gestrahlten Energie auf das Präparat als energiesparend mit.

Es erwies sich im Laufe der Versuche bald als vorteilhaft, auch den auf der Innenseite der Kugelhöhren angebrachten kathodischen Metallbelag zu vermeiden, da er für schnelles Arbeiten immerhin durch

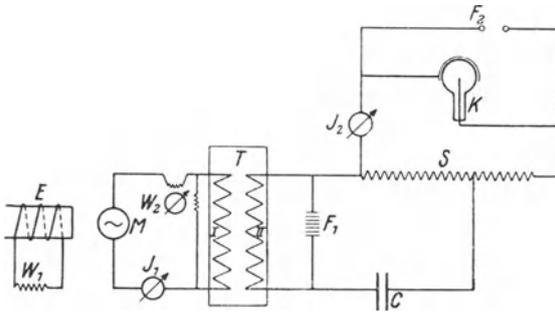


Abb. 42. Schaltung von Gerdien.

die Notwendigkeit, ihn genügend zu entgasen, ein Hindernis bildet. Er stört auch insofern, als etwa bei der Erhitzung zu gewinnende Sublimate verunreinigt werden können. Es wurde deshalb dazu übergegangen, lediglich Außenbelegungen, teils aus Metall, teils aus elektrolytisch leitenden Flüssigkeiten, zu verwenden. Dabei mußte naturgemäß eine Wechselspannung an die Röhren angelegt und die Frequenz zwecks Steigerung der absoluten Größe der zugeführten Energie nach Möglichkeit gesteigert werden. Es ergab sich so eine Anordnung, die in der Patentschrift der Siemens & Halske A.-G. DRP. Nr. 353218, Klasse 21 H, Gruppe 7, vom 28. Oktober 1919 im Prinzip und in einigen Einzelheiten beschrieben worden ist.

Die von Gerdien zur Erzeugung der hochgespannten Hochfrequenzströme benutzte Anordnung ist in Abb. 42 dargestellt.

Eine Wechselstrommaschine von 500 Perioden pro Sekunde M , deren Erregung E durch einen Widerstand W_1 reguliert werden konnte,

war durch einen Strommesser J_1 und ein Wattmeter W_2 an die Primärwicklung I eines Transformators T gelegt, dessen Sekundärwicklung II auf die Funkenstrecke F_1 arbeitete. Die Sekundärspannung des Transformators betrug etwa 20 bis 25 kV. Die Funkenstrecke bestand aus 12 hintereinander geschalteten Funkenstrecken mit silberbelegten Kupferelektroden, deren Abstände je etwa 0,1 bis 0,15 mm betragen (Löschfunkenstrecke der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, Telefunken). An die Funkenstrecke war ein Schwingungskreis gelegt, der aus der Kapazität C und der Selbstinduktion S bestand. Die Kapazität K wurde von einigen großen Leidener Flaschen mit zusammen 30000 cm Kapazität gebildet, die Selbstinduktion aus 7 Windungen einer Flachspule. Die Eigenfrequenz dieses Schwingungskreises entsprach einer Wellenlänge von 1600 m. Von der Selbstinduktion wurde in Autotransformatorschaltung die Spannung zum Betrieb der Kathodenstrahlröhren abgenommen. Vor der Röhre lag ein Strommesser J_2 . Parallel zur Röhre eine Funkenstrecke F_2 , welche so eingestellt wurde, daß ein Durchschlag der Kathodenstrahlröhre nach Möglichkeit ausgeschlossen wurde. Diese Schaltung wurde aus folgenden Gründen gewählt.

Da die Kapazität der Kathodenstrahlröhre je nach dem Druck im Innern der Röhre stark veränderlich ist — es kommen als leitende Belege einerseits die außen an der Glaswand der Röhre liegende Elektrode, andererseits der Glimmsaum des negativen Glimmlichtes im Innern der Röhre in Betracht, dessen Lage je nach dem Druck und der Dunkelraumlänge wechselt —, ist es nicht angängig, die Kathodenstrahlröhre in einem abgestimmten Schwingungskreis zu verwenden, da die Frequenz sich zu stark ändern würde, um eine ökonomische Übertragung der Energie etwa aus einem Stromkreis in einen Schwungradkreis oder dergleichen zu ermöglichen. Bei der hier angegebenen Schaltung wurde die Funkenstrecke nicht als Löschfunkenstrecke benutzt, sondern sie war so einreguliert, daß während jeder Halbperiode der 500-Periodenmaschine eine möglichst hohe Zahl von Partialentladungen zustande kam. Durch jede dieser Entladungen wurde eine relativ schwach gedämpfte Schwingung des primären Schwingungskreises ausgelöst. Sobald die Spannung bei jeder dieser Schwingungen die Zündspannung der Kathodenstrahlröhren überstieg, setzte der Stromdurchgang durch die Röhre ein. Natürlich ging ein gewisser Bruchteil der gesamten aufgewendeten Energie bei dieser Anordnung in der Funkenstrecke verloren, doch war es immerhin möglich, schätzungsweise bis zu 50 v. H. der dem Schwingungskreis zugeführten Energie der Röhre zuzuleiten. Die absolute Größe der auf der Röhre liegenden Leistung schwankte

bei den Versuchen zwischen 300 Watt und etwa 4 kW. Die Zündspannungen an der Kathodenstrahlröhre überstiegen selten 30 000 Volt, die mittleren Stromstärken in der Kathodenstrahlröhre stiegen bis zu 20 mA.

Die ersten von Ger dien benutzten Kathodenstrahlröhren bestanden aus einem Kugelkolben mit einem Kugeldurchmesser von 300 mm, mit einem Halse von etwa 81 mm Durchmesser und 290 mm Länge. Der

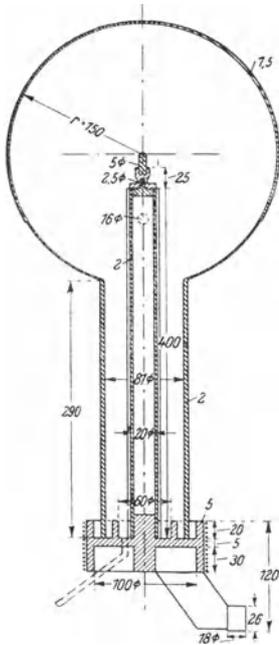


Abb. 43. Kathodenstrahlrohr nach Ger dien.

Kolben wurde mit dem Halse nach unten in einen gußeisernen Fuß eingekittet (mittels weißen Siegelackes), wobei der Kitt durch elektrische Heizung in der Rinne zum Schmelzen gebracht wurde. Der Fuß enthielt den Auslaß zur Vakuumpumpe und trug in der Mitte einen konischen Ansatz, auf den ein Messingrohr aufgesteckt werden konnte. Das Messingrohr ragte bis nahe an den Mittelpunkt der Kugel und war durch ein darübergeschobenes Quarzrohr isoliert. Am oberen Ende des Messingrohres war eine kleine Klemmvorrichtung befestigt, welche den Träger des Präparates in der Höhe einzustellen gestattete. Der Kugelkolben war zu etwa drei Viertel seiner Oberfläche auf der Außenseite durch Versilberung leitend gemacht (später benutzte Ger dien auch durch Aufspritzen nach dem Schoopverfahren hergestellte Zink-Aluminiumüberzüge). Da die Durchschläge des Glaskolbens regelmäßig an dem unteren Rande der Metallbelegung auftraten, wurde das Glas in einigen Zentimetern Abstand von diesem mit festem Paraffin überzogen, um das

Sprühen des Randes der Metallbelegung und die damit verbundene lokale Erwärmung des Glases, die dem Durchschlag vorangeht, zu verhüten. In dem Metallbelag waren an den Enden von zwei zueinander senkrechten horizontalen Durchmessern kleine Öffnungen zur Durchsicht freigehalten, um das Präparat im Innern des Kugelkolbens zentrieren zu können. War die Zentrierung einmal ausgeführt, so konnten für jeden Kolben zwei Anschläge justiert werden, an denen er bei wiederholtem Einkitten anliegen mußte, um die Zentrierung von neuem herzustellen.

Später hat Gerdien mit größeren Kugelkolben bis zu Durchmessern von 500 mm gearbeitet. Dabei benutzte er nicht mehr metallische Belegungen, sondern verwendete für die Außenbelegungen angesäuertes Wasser. Die Gesamtordnung zeigt die Abbildung 44.

Der Kugelkolben war mit seinem Hals in ein kelchförmiges Glasgefäß eingesetzt, das mit ihm dicht verkittet war. In den Zwischenraum zwischen Kelch und Hals wurde bis zur gewünschten Höhe ein schweres Teeröl eingefüllt. Über dieses wurde das angesäuerte Wasser gegossen. In das Wasser tauchte eine ringförmige Zuleitung für den Hochfrequenzstrom. Die innere Zuleitung des anderen Poles wurde wiederum durch ein Messingrohr bewirkt, das mittels gefetteten Schliffes in einer Porzellandurchführung saß, die ihrerseits mit dem Rande des Halses des Kugelkolbens abgedichtet war. Das Messingrohr war, wie bei der in der Abbildung dargestellten Anordnung, durch ein Quarzrohr nach außen isoliert und trug wiederum eine Justiervorrichtung für den Präparatsträger. Den Auslaß zur Pumpe bildete das mit einigen seitlichen Öffnungen versehene Messingrohr. Der Ersatz eines Präparates durch ein neues war hier leichter zu erreichen, als bei der in Abb. 34 dargestellten Anordnung, da man nur den Schliff am unteren Ende des Messingrohres zu lösen und nach Aufstecken des neuen Präparates wieder einzusetzen brauchte.

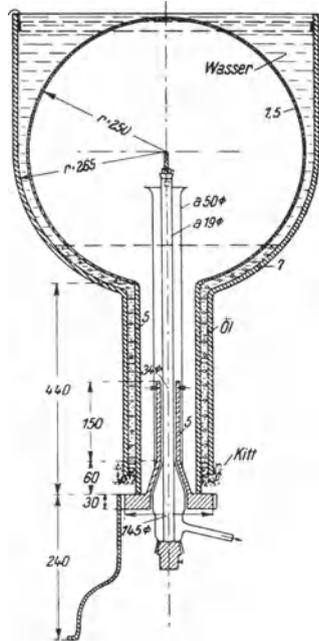


Abb. 44. Kathodenstrahlröhre nach Gerdien.

Ist das Präparat zentriert und durch einige Glühungen entgast, so gelingt es leicht, bei entsprechender Steigerung der Energiezufuhr in wenigen Sekunden auf sehr hohe Temperaturen zu kommen. So gelang es, einen Wolframstift aus gepreßtem Wolframpulver von 6×6 mm im Quadrat binnen 5 Sekunden auf etwa 2 cm Länge zu schmelzen. Bei dem Betrieb der Röhren hat man auf unzulässige Erwärmung des Glaskolbens zu achten. Sie bildet nicht so sehr wegen ungleichmäßiger thermischer Ausdehnung eine Gefahr für den Kolben, als wegen der Möglichkeit der Durchschläge, weil die

durch dielektrische Hysterese bei Hochfrequenzbeanspruchung im Innern des Dielektrikums frei werdende ziemlich erhebliche Energie sich dann leicht an einer höher temperierten Stelle bis zum Durchschlag steigert. Die Schicht von angesäuertem Wasser, welche den Kolben umgibt, bildet eine ausgezeichnete Kühlung. Die stärksten lokalen Erwärmungen kommen in dem oberen Teil der Ölschicht vor, wo anscheinend durch die dielektrischen Verluste in dem vom Rande der leitenden Belegung ausgehenden Streufelder erhebliche Energie verlorengeht. Es ist deswegen zweckmäßig, bei lang andauernden Versuchen, eine Öl-zirkulation und Kühlung des Öles außerhalb des Hochspannungsapparates vorzusehen.

Die von den Verfassern behandelten Präparate wurden, soweit sie aus gepreßten Pulvern von hinreichender Festigkeit bestanden, unmittelbar in einen kleinen metallenen Halter eingeklemmt. Bei Pulvern, welche dieses Verfahren nicht zuließen, wurde ein kleiner Kegel auf einer gepreßten Platte aus dem gleichen Material aufgeschüttet. Etwa sublimierende Substanzen lassen sich leicht von der Innenwand des Kolbens entfernen und gewinnen. Der geeignetste Gasdruck lag in Luft in der Gegend von **0,01 mm Hg.** Für Präparate, bei denen Reaktionen mit dem Füllgas zu befürchten sind, wendet man selbstverständlich ein nicht reagierendes Gas (Edelgas) für Füllung des Kolbens an. Am bequemsten arbeitet man mit einer stark wirkenden Pumpe (Molekularpumpe oder Diffusionspumpe von Gaede) und läßt zur Konstanterhaltung des Druckes das Füllgas durch eine Kapillare dauernd einströmen.

3. Wolframlichtbogenofen¹⁾.

Dieser Ofen ist sowohl zum Arbeiten im Vakuum wie in indifferenter Atmosphäre geeignet. Wie die Skizze zeigt, besteht der Ofen aus einem wassergekühlten Gehäuse 1, durch das vakuumdicht und beweglich die beiden aus Wolfram bestehenden Elektroden 2 und 3 geführt sind. Die obere Elektrode 2 (Kathode) ist wassergekühlt und durch den Gummistopfen 4 in den Behälter geführt. Sie kann durch Griff 5 vermöge des Gummistopfens auch seitlich bewegt werden. Die untere Elektrode ruht auf dem Rohr 6 und ist durch das äußere Rohr 7 in den Ofen eingeführt. Dieses ist etwa 800 mm lang und endet in dem Quecksilbergefaß 8, das als Vakuumdichtung dient, indem das Quecksilber beim Evakuieren in dem engen Raum zwischen 6 und 7 hochsteigt.

¹⁾ Der Ofen ist von A. Fehse und K. Schröter konstruiert.

Durch den Griff 9 kann die Elektrode 3 (Anode) auf- und abwärts bewegt werden, und wird durch die beiden Gewichte 10 im Gleichgewicht gehalten. Am unteren Ende ruht das Elektrodengestänge auf Kugellager 11 und kann

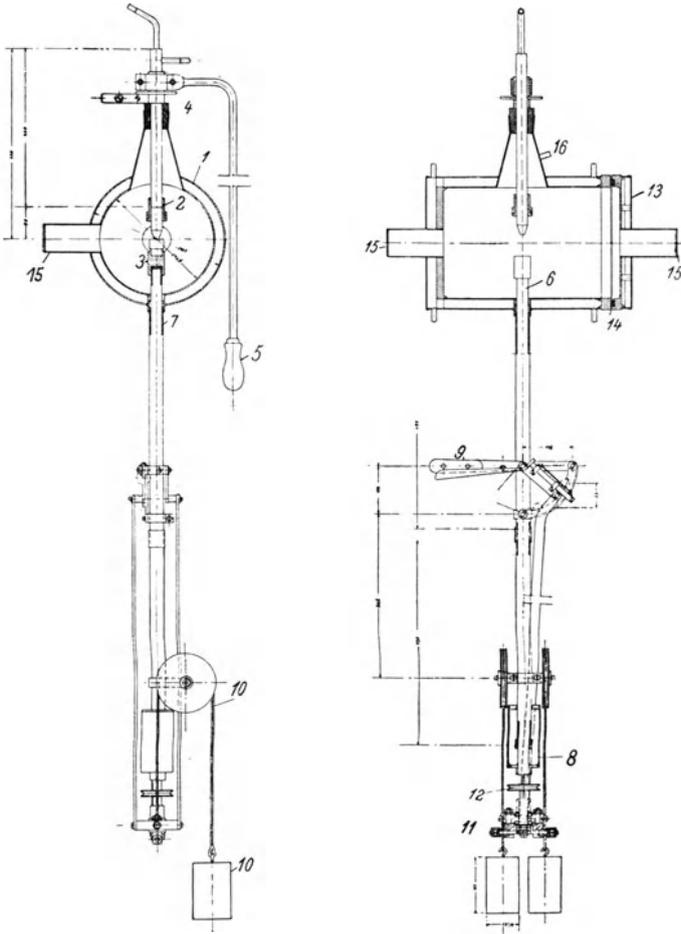


Abb. 45. Wolframlichtbogenofen.

mit Hilfe eines Motors durch Riemenscheibe 12 in radialer Richtung gedreht werden. Zur Beschickung des Ofens dient der Deckel 13, der durch Packung 14 abgedichtet ist. Beobachtet und gemessen wird der Schmelzvorgang durch die Schaugläser 15. 16 ist die Zuleitung für Schutzgas oder Vakuum.

4. Öfen mit oxydierender Atmosphäre.

Die bisher beschriebenen Öfen waren alle für reduzierende Atmosphäre oder für Vakuum gebaut. Zu Versuchen an Oxyden und Oxydgemischen war es nötig, oxydierende Öfen für die höchstreichbaren Temperaturen zu konstruieren. Dies war an Hand der gesammelten Erfahrungen (s. Keramik) möglich, indem wir schon vorhandene Ofenkonstruktionen¹⁾ so vereinfachten, daß sie mit den einfachsten Mitteln gebaut werden können.

Gassauerstoffofen für Temperaturen bis 2200° C.

a) Der Ofen ist, wie aus der Skizze ersichtlich, wie ein Fletscherofen mit drei radial angebrachten Gebläsen ohne Vorwärmung gebaut.

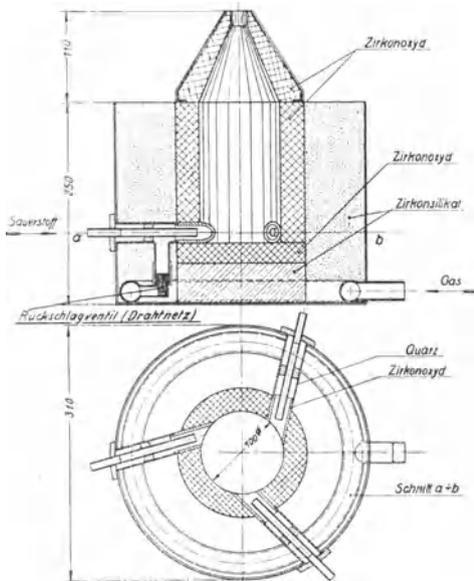


Abb. 46. Gassauerstoffofen für Temperaturen bis 2200° C.

Der Ofen besteht aus einem bis über 2000° C im Kohlerohröfen vorgeglühten Zirkonoxyd, dem 10% Zirkonsilikat als Bindemittel zugesetzt sind. Wegen des schwierigen Brennens größerer Stücke ist der Ofen aus mehreren Klötzen zusammengesetzt. Diese werden vorher in einer Form gestampft (s. S. 29), bei etwa 1400° C vorgebrannt und dann zusammengebaut. Der Deckel des Ofens besteht ebenfalls aus einzelnen Klötzen, die von einem Eisenrahmen gehalten werden. Die Düsen des Ofens sind so konstruiert, daß das Gas sich mit dem

Sauerstoff erst an der Düsenöffnung mischen kann; sicherheitshalber ist noch ein Rückschlagsventil aus Drahtnetz in der Gasleitung

¹⁾ Podszus, Zeitschr. f. angew. Chem. 30, 17, 1917; 32, 146, 1919. Schnabel-Bone, Eßich, Stahl u. Eisen 1, 22, 1921.

untergebracht. Zur Erhöhung der Wärmeisolation ist der Ofen in ein mit Zirkonsilikat gefülltes Eisengefäß eingebaut. Die Erhitzung des Ofens erfolgt in der Weise, daß man ihn erst mit einem Leuchtgas-Preßluftgemisch anheizt und allmählich Sauerstoff zugibt.

Oberflächenverbrennungsöfen für Temperaturen über 2200° C (System Schnabel).

b) Die Öfen sind nach dem Oberflächenverbrennungsprinzip gebaut. Ein betriebsmäßiger Gebrauch bis zu den höchsten Temperaturen der Öfen wurde erst dann erreicht, als es gelang,

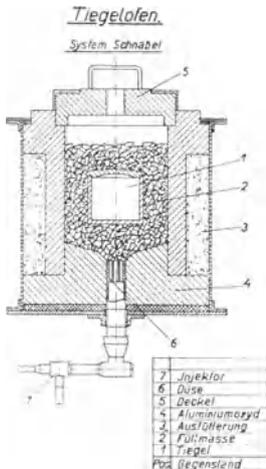


Abb. 47.

Tiegelofen nach Schnabel.

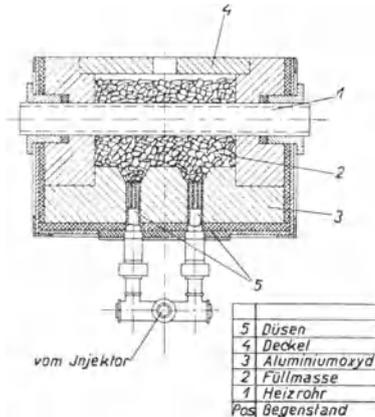


Abb. 48.

Röhrenofen nach Schnabel.

nach den unter Keramik erwähnten Verfahren Tiegel und Heizrohre nach dem Stampfverfahren für diese Öfen herzustellen. Die verbrennenden Gase werden in möglichst innige Berührung mit der glühenden Oberfläche gebracht. Dies geschieht dadurch, daß man ein Leuchtgas-Luftgemisch durch eine Schicht grobkörnigen (Erbsengröße) feuerfesten Materials (Zirkonoxyd, Nernstmasse) preßt und innerhalb dieser Schicht zur Verbrennung bringt. Zur Inbetriebsetzung der Öfen ist ein Leuchtgas-Luftgemisch erforderlich, das mindestens unter einem Druck von 500 mm Wassersäule steht. Das Gas-Luftgemisch wird mit Hilfe eines Injektors, der an der

Saugseite mit der Gasleitung verbunden ist, erzeugt. Die zu erhitzenden Körper werden entweder, wie Abb. 47 zeigt, in die grobkörnige Masse eingebettet, oder die Glühung wird, wie bei Abb. 48, in einem Heizrohr, das in die Masse eingebaut ist, vorgenommen. Die Inbetriebsetzung der Öfen erfolgt in einfachster Weise. Das zugeleitete Gasgemisch wird an der Oberfläche der aufgeschichteten, erbsengroßen Masse entzündet, wobei ein Zurückschlagen der Verbrennungsgase in die Füllmasse erfolgt, und eine Lokalisierung der Verbrennung oberhalb der Gaszuführung in den unteren Schichten der Öfen stattfindet. Es bildet sich eine Glühzone, die sich sehr rasch ausbreitet und schnell bis zu den oberen Schichten des Füllmaterials übergreift. Die Regulierung der Temperatur erfolgt durch Bemessung der Gemischzufuhr. Beim Ausschalten der Öfen muß immer, bis zum gänzlichen Abkühlen, etwas Luftzufuhr vorhanden sein, um ein Verbrennen oder Schmelzen der eisernen Düse zu vermeiden.

Die Öfen bestehen, wie die Abb. 47 und 48 zeigen, aus Eisenblechkästen, deren Seiten mit geschmolzenem Aluminiumoxyd ausgestampft sind.

Abb. 47 ist ein Tiegel- oder Muffelofen mit einem Gebläse.

Abb. 48 stellt einen vierkantigen Röhrenofen mit zwei Gebläsen und einem aus hochgeglühtem Zirkonoxyd und 10% Zirkonsilikat gestampften Heizrohr dar. Das Rohr muß so in die Ofenwand eingesetzt werden, daß sich das eine Rohrende frei bewegen kann, um die durch die Erhitzung hervorgerufene Ausdehnung zu ermöglichen. Über die Düsen müssen, um ein Verstopfen derselben durch den Oxydgrieß zu vermeiden, Eisensiebe gelegt werden.

Namenregister.

- | | | |
|--|---|--|
| Ajax Electrothermic
Co. 49, 50, 53.
Alterthum 13.
Bone 66.
C. Lorenz A.-G., 48, 51.
Debuch 48.
Dufour 51.
Eßich 66.
Ewald 47.
Fehse, A. 64.
Fichter 18, 19, 21.
Gebrüder Siemens,
Berlin-Lichtenberg
27.
General Electric Co. 55.
Gerdien 59.
Gürtler 44.
Härdén 48.
Hertz 49, 51.
Hougen 29. | Jacoviello 48.
Jordan 28.
Kaiser Wilhelm - Insti-
tut f. Eisenforsch. 51.
Langmuir 47.
Lax 44.
Lorenz 54.
Moyat & Co., Berlin-
Lichtenberg 28.
Northrup 49, 50, 55.
Oesterheld 18, 19, 21.
Osram I, 21.
Parsons 17.
Peterson 28.
Phelps 28.
Pirani III, 13, 44.
Podszus 66.
Ribaud 48, 50. | Riegger 59.
Le Rossignol 40.
Saunders 28.
Schmidt 47, 51.
Schnabel 67.
Schneider 48.
Schröter 64.
Siemens & Halske A.-G.
24, 60.
Skaupy IV.
Staatliche Porzellan-
manufaktur 27.
Stock 17.
Swinton 17.
Tiede 57.
Wartenberg 2, 17, 18,
56.
Wever 48, 51.
Wiegand 21, 22.
Zander 48. |
|--|---|--|

Sachregister.

Absorptionsvermögen 7—17.
Alkohol 50.
Allitmasse 27, 38.
Aluminiumbronze 30.
— -düse 42.
— -oxyd 28, 34, 38, 68.
Alundum 28.
Anlasser 53.
Anode 56.
Anschlußstück 24.
Asbestpappe, Schnur 9.
Aufhängevorrichtung 17.
Ausdehnungskoeffizient 3, 27, 34, 38.
Auskleidungsmaterial 36.
Ausstrahlung 3.
Autotransformatorschaltung 61.

Berieselung 23.
Blechlehre 55.
Bleipackung 27.
Buster 9.

Calciumnitrat 57.

Dampfdruck 27.
Dichtungsmasse 23.
Dielektrikum 64.
Diffusionspumpe 64.
D-Masse 27, 38.
Drahtgeflecht 24.
— -netz 66.
Drall 34.
Drehregler 9.
Dreieckschaltung 50.
Dreiphasenofen 50.
Drossel 50.
Druckschraube 26.
Düsen 66.

Edelgas 64.
Eigenfrequenz 61.
Eingangsspannung 50.

Elektrodenfassung 20.
Elektrolyse 33.
Energiedichte 60.
— -kurven 7, 45.
— -verlust 4.

Felderregung 51.
Fiber 22, 37, 40.
Fletscherofen 66.
Fliehkraftregler 51.
Flußeisen 22.
Formiergas 1.
Formkörper 1.
Führung 22.
Führungsstift 23.
Funkenstrecke 50, 61.

Gaedepumpe 18, 56, 59, 64.
Ganghöhe 30.
Gasbrenner 23.
Gasisolation 13, 16, 26, 30, 31, 35,
37, 38, 39, 42.
Gebläse 66.
Geflecht 41.
Gewindespitze 38.
Gießform 25.
Gleitfunken 58.
Gleitkontakt 12
Glimmer 16, 18.
Glimmlicht 59.
— -saum 61.
— -schicht 59.
Glühlampenfuß 56.
— -werk 21.
Graphit 25.
Grüne Masse 29.

Halterdraht 41.
Heizkäfig 25.
Hilfsschraube 34.
Hochfrequenzmaschine 51.
Hysterese 64.

Induktivität 49.
Induktorium 59.
Injektor 67.
Innengewinde 36.
— -strahlung 8.
Justiervorrichtung 63.
Kalk 57.
Kaolin 30.
Kapazität 49.
Kapillare 64.
Kathode 56.
Kathodenstrahlbündel 59.
— -röhre 62.
Kernkörper 36, 39.
Kieselgur 30, 44.
— -säure 28.
Klammer 23.
Klingerit 18, 27, 36.
Kohle 25.
Kohlenelektrode 50.
Kohlepartikel 29.
— -rohrofen 29, 66.
Kondensator 48, 61.
Kontaktbacke 4, 5.
Konvektion 3.
Konvergenzverlust 59.
Koordinatensystem 46.
Korafin 28, 34.
Korngrößenverhältnis 28.
Kristallausbildung 29.
Kugelgelenk 6.
— -kolben 62.
— -röhre 60.
— -variometer 52.
Kühler 31.
Kühlkessel 20.
Legierung 26.
Leidener Flasche 61.
Löschfunkenstrecke 48.
Magnesiarohr 20, 56.
Marineleim 2, 17, 18, 56.
Meniskusform 28.
Molekularpumpe 64.
Molybdänbacke 6, 23.
— -blech 4.
— -draht 30.
Muffe 22.
Nebenschlußmotor 51.
Nernstmasse 21, 67.
Netzschalter 53.
Nut 3, 34.

Oberflächenbeschaffenheit 7.
Ofenaufbau 2.
Ofenbatterie 32.
— -futter 53.
— -impedanz 52.
— -spule 48.
— -stab 25.
Ölverschluß 16.
Oxyd 27, 66.
— -griß 68.
Paraffin 62.
Parallelentladung 61.
— -induktivität 52.
Pech 22.
Permeabilitätsänderung 52.
Picein 22.
Pistill 29.
Platinblech 57.
Porosität 27.
Poulsen-Generator 49.
Präparatträger 63.
Preßkörper 32.
— -mutter 39.
— -span 9.
— -vorrichtung 3.
Quarzrohr 58.
— -träger 58.
Quecksilberkontakt 6, 13, 17.
Rezipient 27.
Reduktion 29.
Reflexionsvermögen 43.
Reguliertransformator 9.
Rille 27.
Röntgenröhrenkathode 57.
— -scheibe 56.
— -vakuum 57.
Rost 20.
Rotamesser 2
Rückstrombrenner 2
Rückschlagsventil. 66.
Saugseite 68.
Säulenwiderstand 10.
Schaltungsschema 9, 60.
Schamotte 53.
Schauglas 13, 14, 23, 27, 31, 41, 56.
— -rohr 6.
Schelle 40.
Schieferring 27.
Schiffchen 38.
— -beschickung 6.
Schlackenrest 24.

Schliff 28, 55, 56.
Schoopverfahren 62.
Schraubenwindung 33.
Schutzgas 1.
— -kasten 6.
— -tiegel 58.
Schwindung 28.
Seigervorgang 28.
Sekundärspule 57.
Selbstinduktion 61.
Sintern 9, 15, 17, 28, 36.
Sintergut 42.
— -stab 32.
Sockel 57.
Spannring 40.
— -schloß 48.
Spez. Widerstand 44.
Specksteinbuchse 30.
Spiegelglasfenster 18.
Spindel 39.
Stampfverfahren 29, 41, 67.
Stelling 22.
— -schraube 17.
Strahlungsschiene 20.
— -schutz 41.
— -schutzblech 6, 15, 27.
— -verlust 8.
Streufeld 64.
Stromtransformator 8.
— -Spannungsresonanzschaltung 51.
Stufentransformator 9, 50.
Sublimat 60.

Tantal 26.
Teller 27.
Teslastrom 48.
Thorium 26.
— -oxyd 2, 3, 55.
Tiegel 55.
— -ofen 50.
Tonerde 28.
Träger 32.

Transformation 51.
Travers 17.

Vakuumbahn 18, 27.
— -stutzen 37.
Ventourmesser 2.
Vergußmasse 22.
Vierkantkopf 36.
Vorwärmung 66.

Wannerpyrometer 18.
Wärmeableitung 4.
Wärmeausdehnung 4.
Wärmeausdehnungskoeffizient 28.
Wärmeisolation 44, 46.
Wärmeleitfähigkeit 4.
Wärmeleitungsverlust 8.
Wasserglas 56.
— -säule 67.
Wehneltunterbrecher 59.
Wicklungsichte 44.
Winde 23.
Wolframauskleidung 4.
— -blech 4, 21.
— -blechrohr 4.
— -drahtgeflecht 2, 24, 40.
— -drahtwicklung 29 bis 40.
— -elektrode 64.
— -feder 6.
— -futter 16.
— -massivrohr 2 bis 15, 26.
— -patrone 16.
— -pflock 6.
— (porös) 4.
— -wolle 4, 8.

Zirkon 26.
— -oxyd 3, 16, 28, 29, 34, 41, 46.
— -silikat 64, 66.
Zugstange 17.
Zündspannung 63.
Zusatzspule 51.

Neuere und neueste Hefte der „Sammlung Vieweg“

- Heft 34. Obering. Carl Beckmann: *Haus- und Geschäfts-Telephonanlagen*. Mit 78 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 35. Dr. Aloys Müller: *Theorie der Gezeitenkräfte*. Mit 17 Abb. M. 3,—.
- Heft 36. Prof. Dr. W. Kummer: *Die Wahl der Stromart für größere elektrische Bahnen*. Mit 7 Abbildungen. M. 2,50.
- Heft 37. Dr. Reinhold Rieke: *Die Arbeitsmethoden der Silikatchemie*. 2. Aufl. Mit 4 Abbildungen. M. 3,50.
- Heft 38. Prof. Dr. A. Einstein: *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie. (Gemeinverständlich.)* 14. Auflage. (61. bis 65. Tausend.) Mit 4 Figuren. M. 3,—.
- Heft 39/40. Dr. Richard Grammel: *Die hydrodynamischen Grundlagen des Fluges*. Mit 83 Abbildungen. M. 5,—.
- Heft 41/42. Ingenieur Georg Duffing: *Erzwungene Schwingungen bei veränderlicher Eigenfrequenz und ihre technische Bedeutung*. Mit 23 Abb. M. 4,75.
- Heft 43. Dr. Robert Schwarz: *Feuerfeste und hochfeuerfeste Stoffe*. 2. vermehrte Auflage. Mit 10 Abbildungen. M. 2,—.
- Heft 44. Dr. Iwan Döry: *Einphasenbahnmotoren*. Mit 75 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 45. Prof. Dr. K. Fajans: *Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen*. 4. Auflage. Mit 11 Abbildungen und 14 Tabellen. M. 5,—.
- Heft 46. Dr. Bruno Alexander-Katz: *Quarzglas und Quarzgut*. Mit 43 Abb. M. 2,50.
- Heft 47. Prof. Dr. G. Berndt: *Radioaktive Leuchtfarben*. Mit 28 Abbildungen im Text und auf einer Lichtdrucktafel. M. 4,—.
- Heft 48. Dr. R. Fürth: *Schwankungserscheinungen in der Physik*. Mit 5 Abb. M. 3,50.
- Heft 49. Dr. Hans Georg Möller: *Die Elektronenröhren und ihre technischen Anwendungen*. 2., vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 208 Textabbildungen und einer Tafel. M. 7,50.
- Heft 50. Prof. Dr. C. Dorno: *Klimatologie im Dienste der Medizin*. Mit 11 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 51. Prof. Dr. C. Isenkrahe: *Zur Elementaranalyse der Relativitätstheorie*. M. 4,50.
- Heft 52. Dr.-Ing. Max Moeller: *Das Ozon. Eine physikalisch-chemische Einzeldarstellung*. Mit 32 Textfiguren. M. 6,—.
- Heft 53. Dr. V. Geilen: *Mathematik und Baukunst als Grundlagen abendländischer Kultur. — Wiedergeburt der Mathematik aus dem Geiste Kants*. M. 3,—.
- Heft 54. Dr. H. Heinrich Franck: *Die Verwertung von synthetischen Fettsäureestern als Kunstspeisefette in wirtschaftlicher, physiologischer und technischer Beziehung*. Mit 3 Abbildungen. M. 3,25.
- Heft 55. Dr. Alfred Wegener: *Die Entstehung der Mondkrater*. Mit 9 Abbild. im Text und auf 3 Tafeln. M. 2,25.
- Heft 56. N. Bohr: *Drei Aufsätze über Spektren und Atombau*. 2. Auflage. Mit 13 Abbildungen. M. 5,—.
- Heft 57. Prof. Dr. Hans Cloos: *Der Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge*. Mit 24 Zeichnungen und einer Karte. M. 4,—.
- Heft 58. Dr. Walther Gerlach: *Die experimentellen Grundlagen der Quantentheorie*. Mit 43 Abbildungen.
- Heft 59. Prof. Dr. E. Study: *Denken und Darstellung, Logik und Werte, Dingliches und Menschliches in Mathematik und Naturwissenschaften*. M. 2,—.
- Heft 60. Prof. Dr. techn. Milan Vidmar: *Theorie der Kreiselpumpe*. Mit 39 Abbildungen. M. 4,75.