

Bisher erschienene Hefte der „Sammlung Vieweg“.

- Heft 1. Dr. Robert Pohl und Dr. P. Pringsheim-Berlin: *Die lichtelektrischen Erscheinungen*. Mit 36 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 2. Dr. C. Freiherr von Girsewald-Berlin-Halensee: *Peroxyde und Persalze*. M. 2,40.
- Heft 3. Diplomingenieur Paul Béjeuhr-Charlottenburg: *Der Blériot-Flugapparat und seine Benutzung durch Pégoud vom Standpunkte des Ingenieurs*. Mit 26 Abbildungen. M. 2,—.
- Heft 4. Dr. Stanislaw Loria-Krakau: *Die Lichtbrechung in Gasen als physikalisches und chemisches Problem*. Mit 3 Abbildungen und 1 Tafel. M. 3,—.
- Heft 5. Professor Dr. A. Gockel-Freiburg i. d. Schweiz: *Die Radioaktivität von Boden und Quellen*. Mit 10 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 6. Ingenieur D. Sidersky-Paris: *Brennereitragen: Kontinuierliche Gärung der Rübensäfte. — Kontinuierliche Destillation und Rektifikation*. Mit 24 Abbildungen. M. 1,60.
- Heft 7. Hofrat Professor Dr. Ed. Donath und Dr. A. Gröger-Brünn: *Die flüssigen Brennstoffe, ihre Bedeutung und Beschaffung*. Mit 1 Abbildung. M. 2,—.
- Heft 8. Geh. Reg.-Rat Professor Dr. Max B. Weinstein-Berlin: *Kräfte und Spannungen. Das Gravitations- und Strahlendf. M. 2,—.*
- Heft 9/10. Geh. Reg.-Rat Professor Dr. O. Lummer-Breslau: *Verflüssigung der Kohle und Herstellung der Sonnentemperatur*. Mit 50 Abbildungen. M. 5,—.
- Heft 11. Dr. E. Przybyllok: *Polhöhen-Schwankungen*. Mit 8 Abbildungen. M. 1,60.
- Heft 12. Professor Dr. Albert Oppel-Halle a. S.: *Gewebekulturen und Gewebepflege im Explantat*. Mit 32 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 13. Dr. Wilhelm Foerster-Berlin: *Kalenderwesen und Kalenderreform*. M. 1,60.
- Heft 14. Dr. O. Zoth-Graz: *Über die Natur der Mischfarben auf Grund der Undulationshypothese*. Mit 3 Textfiguren und 10 Kurventafeln. M. 2,80.
- Heft 15. Dr. Siegfried Valentiner-Clausthal: *Die Grundlagen der Quantentheorie in elementarer Darstellung*. 2. erweiterte Auflage. 1919. Mit 8 Abbildungen. M. 3,60.
- Heft 16. Dr. Siegfried Valentiner-Clausthal: *Anwendung der Quantenhypothese in der kinetischen Theorie der festen Körper und der Gase. In elementarer Darstellung*. Mit 4 Abbildungen. M. 2,60.
- Heft 17. Dr. Hans Witte-Wolfenbüttel: *Raum und Zeit im Lichte der neueren Physik*. Eine allgemeinverständliche Entwicklung des raumzeitlichen Relativitätsgedankens bis zum Relativitätsprinzip der Trägheitssysteme. Mit 18 Abbild. 2. Aufl. M. 2,80.
- Heft 18. Dr. Erich Hupka-Tsingtau: *Die Interferenz der Röntgenstrahlen*. Mit 33 Abbild. und 1 Doppeltafel in Lichtdruck. M. 2,60.
- Heft 19. Prof. Dr. Robert Kremann-Graz: *Die elektrolytische Darstellung von Legierungen aus wässrigen Lösungen*. Mit 20 Abbildungen. M. 2,40.
- Heft 20. Dr. Erik Liebreich-Berlin: *Rost und Rostschutz*. Mit 22 Abbildungen. M. 3,20.
- Heft 21. Prof. Dr. Bruno Glatzel-Berlin: *Elektrische Methoden der Momentphotographie*. Mit dem Bild des Verfassers und 51 Abbildungen. M. 3,60.
- Heft 22. Prof. Dr. med. et phil. Carl Oppenheimer-Berlin: *Stoffwechselermente*. M. 2,80.

QUARZGLAS UND QUARZGUT

VON

DR. BRUNO ALEXANDER-KATZ

PATENTANWALT, BERLIN-GÖRLITZ

MIT 43 ABBILDUNGEN



SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH

**Herausgeber dieses Heftes:
Prof. Dr. B. Neumann, Breslau.**

ISBN 978-3-663-00957-3 ISBN 978-3-663-02870-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-02870-3

Alle Rechte vorbehalten.

Copyright, 1919, by Springer Fachmedien Wiesbaden
Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, Germany 1919

Vorwort.

Die großen Erfolge der wissenschaftlichen Durchdringung der bisher meist empirischen Glastechnik durch Abbe und Schott haben nicht alle Anforderungen der Technik an Glas, insbesondere mit Bezug auf Temperatur- und Säurefestigkeit erfüllt.

Man brauchte ein plastisches Material von schwerer Schmelzbarkeit, hoher Lichtdurchlässigkeit und Festigkeit gegen plötzliche Temperaturänderungen und fand es in dem verglasten geschmolzenen Quarz. Ernst Abbe hatte bereits vor 30 Jahren die Bedeutung des geschmolzenen Quarzes für die Optik erkannt, falls es gelänge, ein blasen- und spannungsfreies Material zu erhalten. Indessen blieben seine daraufhin gerichteten Versuche ebenso ohne praktischen Erfolg wie die zahlreichen Versuche, dieses spröde Material zu technischen Formen aller Art zu verarbeiten. Erst mit Beginn dieses Jahrhunderts zeigten sich die ersten Anfänge einer Schmelz- und Formgebungstechnik, und erst seit etwa 12 Jahren kann man von einer methodischen Herstellung von technischen Erzeugnissen aus Quarz großen Stiles sprechen. Der Darstellung dieses jüngsten Sprosses der Technik seien die folgenden Blätter gewidmet.

Görlitz und Berlin, im Juli 1919.

Dr. Bruno Alexander-Katz.

Inhaltsverzeichnis.

| | Seite |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| Einleitung | 1 |
| I. Das Schmelzverfahren vor der Gebläselampe | 3 |
| II. Das Schmelzverfahren im elektrischen Lichtbogen | 11 |
| III. Das Schmelzverfahren im Widerstandsofen | 15 |
| IV. Verfahren zur Läuterung der Quarzschmelze | 31 |
| V. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Quarzgutes . | 37 |
| VI. Die technische Bedeutung von Quarzglas | 41 |
| Literaturverzeichnis. | 52 |

Einleitung.

Die Herstellung von Quarzglas oder, wie man technisch richtiger sagt, Quarzglas, ist eine Errungenschaft der jüngsten Technik und gehört zu dem großen Gebiete der Verarbeitung der Kieselsäure, die in Form von Bergkristall, Kieselquarz oder Sand in mehr oder weniger großen Ablagerungen reichlich in der Natur vorkommt. Diese Verbindung des Metalls Silicium (Si) mit Sauerstoff (O) in Form des Siliciumdioxids (SiO_2) bildet den Grundstoff in der Glaserzeugung. Zum Zwecke der Formung wird sie hierbei mit alkalischen Schmelzstoffen wie Soda, Pottasche, alkalischen Erden, Metalloxyden trocken gemengt und durch Erhitzen im Glasschmelzofen — in der Wanne oder im Hafen — bis zu etwa 1200° in einen schmelzflüssigen Zustand gebracht. Das geklärte (geläuterte) Schmelzprodukt wird zu Hohl-, Fenster- und Flaschenglas auf mechanischem Wege oder durch die Kunst des Glasbläfers in bekannter Weise durch Blasen, Walzen, Pressen, Gießen oder Ziehen geformt. Beim Schmelzen entsteht eine Verbindung der Kieselsäure mit den zugemengten Metalloxyden, Natrium-, Kalium-, Calcium-, Bleioxyd in Form von Silicaten. Wahrscheinlich handelt es sich dabei nicht um eine nach genauen molekularen Verhältnissen zusammengesetzte chemische Verbindung, sondern um eine erstarrte Lösung eines Metallsilicates.

Auch in der verwandten Technik der Keramik (Porzellan, Steingut, Steinzeug, feuerfeste Steine), die sich chemisch nicht wesentlich von der Glaserzeugung unterscheidet, bildet die Kieselsäure in Form des Tonerdesilicates (Ton) den wesentlichen Bestandteil. Während Glas aber aus der feuerflüssigen Schmelze geformt wird, erfolgt die Formung des keramischen Erzeugnisses in kaltem Zustande. Die tonige Substanz bildet mit Wasser eine plastische Masse, die auf der Drehscheibe durch Modellieren aus

freier Hand oder bei dünnflüssigen Massen durch Gießen Form erhält, darauf getrocknet und im Brennofen bei je nach dem Grad der Feuerflüssigkeit des Tones verschieden hohen Temperaturen gebrannt wird. Die Tonsubstanz ist im wesentlichen ein Tonerdesilicat von der Zusammensetzung $\text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, dessen Feuerfestigkeit und Plastizität von dem Verhältnis der Tonerde zur Kieselsäure, von der Anwesenheit von Alkalien, alkalischen Erden und anderen die Schmelzbarkeit beeinflussenden Substanzen, aus denen sich die tonige Masse zusammensetzt, abhängen. In der Keramik wie in der Glastechnik ist also das Erzeugnis nicht Kieselsäure, sondern eine kieselsaure Verbindung, ein Silicat.

Anders bei der Erzeugung von Quarzglas oder Quarzglas. Hier ist Kieselsäure Ausgangsstoff und Erzeugnis. Nur die Form hat sich gewandelt. Aus Bergkristall, Quarzit, Sand entsteht ohne den Zusatz von Alkalien, alkalischen Erden, Metalloxyden lediglich durch einen Schmelz- und Formprozeß all das vielgestaltige Gerät der Technik und Wissenschaft, wie wir es in Glas, Porzellan und Steingut kennen. Deshalb ist auch die Bezeichnung Quarzglas technisch nicht richtig, wenn auch das Erzeugnis einige glasähnliche Eigenschaften besitzt.

Während Keramik und Glastechnik auf ein mehrtausend-jähriges Alter zurückblicken können, reichen die ersten Anfänge des jüngsten Zweiges auf diesem Gebiete, der Quarzguterzeugung erst auf wenige Jahrzehnte zurück. Die Möglichkeit der Erzeugung sehr hoher Temperaturen war die Voraussetzung für die Umformung von Bergkristall und Quarz durch Schmelzen. Erst die Entdeckung des Sauerstoffs (1774) und des Wasserstoffs (1766) und die Verwertung beider Gase als Knallgas im Knallgasgebläse ermöglichten die Anwendung der zum Schmelzen und Formen nötigen hohen Temperatur von etwa 1700°. Die Anfänge der Quarzguttechnik weisen auf französische Forscher hin. Gaudin war der erste, dem es gelang, aus geschmolzenem Bergkristall Quarzfäden herzustellen. In gleicher Richtung arbeiteten später die Franzosen Gautier, Dufour, Le Chatelier und Villard, und der Engländer Shenstone, sowie in Deutschland Heräus, der die ersten Anfänge einer industriellen Entwicklung legte. Die kostspielige und mühsame Arbeit am Knallgasgebläse führte aber nur zur Herstellung sehr kleiner Tiegel, Röhren, Stäbchen

und Platten. Erst mit der Einführung des elektrischen Lichtbogens und des Widerstandsofens war der Weg zur fabrikatorischen Erzeugung von Quarzglas im großen gegeben. Hier führte die Entwicklung über den Engländer Hutton, den Amerikaner Thomson, die Deutschen Askenasy und Ruhstrat zu den Erfindungen von Bottomley und Paget, den eigentlichen Begründern der modernen Quarzglas-technik, und deren Nachfolgern.

I.

Das Schmelzverfahren vor der Gebläselampe.

Die Bestrebungen der ersten Forscher auf dem Gebiete der Quarzschmelzung zielten auf Herstellung eines durchsichtigen, glasartigen Produktes aus Bergkristall. Da der Formgebung eine Erweichung des starren Rohstoffes vorausgehen mußte, und diese bei dem hohen, etwa bei 1700° liegenden Schmelzpunkt der Kieselsäure nur unter Benutzung sehr hoher Temperaturen ermöglicht werden konnte, arbeitete man zunächst mit dem seinerzeit einzigen Mittel zur Erzeugung hoher Hitzegrade, dem Knallgas- oder Sauerstoffgebläse, bei dem Sauerstoffgas oder Luft der Wasserstoff- oder Leuchtgasflamme zugeführt wird. Dabei entsteht eine kleine spitze, aber sehr heiße Flamme von etwa 2000°, welche ausreicht, um Kieselsäure, Tonerde, Platin zum Schmelzen zu bringen. Die Apparatur und insbesondere der spitze Flammenkegel gestatten aber nur, immer minimale Teile des Schmelzgutes in den heißesten Flammenteil zu bringen und zu schmelzen.

Gaudin stellte 1839 fest, daß Bergkristall im Sauerstoffgebläse leicht erweicht und sich in geschmolzenem Zustande durch Druck in Form bringen läßt. Er erkannte als erster, daß der Schmelzpunkt und der Verflüchtigungspunkt der Kieselsäure so dicht beieinander liegen, daß Quarz bereits bei Temperaturen, die dicht über dem Schmelzpunkt liegen, nicht erst flüssig wird, sondern stark verdampft, und dabei Wärme derart absorbiert wird, daß es nicht zur Verflüssigung kommt. Es gelang ihm, aus dem vor dem Knallgasgebläse in viskosen, teigartigen Zustand übergeführten Bergkristall bis zu 1 m lange, sehr biegsame Fäden zu ziehen. Dieses erste, einfache Schmelzprodukt erregte die Bewunderung der französischen Akademie der Wissenschaften. Gaudin ließ die weißglühenden durchsichtigen Fäden in Wasser

fallen und beobachtete, daß der im Wasser erstarrte, abgeschreckte Quarz nicht wie Glas zersprang, sondern sich durch Härte und Elastizität auszeichnete, und hoffte deshalb, das Material zur Herstellung von Torsionsfäden und Federn für Präzisionsinstrumente verwenden zu können.

Aber erst viele Jahre später, im Jahre 1869, verstand es Gautier aus geschmolzenem Quarz kleinstes, durchsichtiges Gerät, wie Röhrchen, Thermometer, kapillare Schlangenrohre, herzustellen, die er 1878 auf der Pariser Weltausstellung ausstellte. Er erkannte die Vorzüge des Quarzglases für die Herstellung von Thermometern zur Messung hoher Temperaturen und formte, indem er den erweichten Quarz wie der Glasbläser vor der Gebläselampe zu Röhrchen zog und zu Kügelchen aufblies. In derselben Richtung, aber ohne wesentliche praktische Ergebnisse, wurde um 1890 und in den folgenden Jahren von verschiedenen Forschern, so von Boys, Dufour, Le Chatelier und Villard, gearbeitet.

Boys gelang es, Quarzfäden von 0,025 mm Dicke bis zu 30 m Länge herzustellen, indem er zur Weißglut erhitzte und erweichte Quarzstücke mittels Armbrust und Bogen durch die Luft schoß, die dabei Fäden zogen. Solche Fäden benutzte er 1895 als Torsionsfäden für hochempfindliche Apparate zur Bestimmung der Schwerkraft; sie fanden später Anwendung bei Aufhängung von Ablesespiegeln bei Präzisionsinstrumenten als Ersatz von Coconfäden, sowie als Fäden in Fadenmikrometern und als Objekte zur Prüfung der Sehschärfe der Mikroskope.

Dufour erweichte Quarz in der Flamme des Sauerstoffgebläses und stellte daraus Röhrchen her. Er erkannte, daß die hohe Erweichungstemperatur und die Durchsichtigkeit des geschmolzenen Quarzes wertvolle Eigenschaften für die Thermometrie, für die Herstellung von Thermometern zur Messung von Temperaturen bis 900° darstellten, wenn man das Quecksilber durch ein anderes Metall mit höherem Verdampfungspunkt, wie z. B. Zinn oder Zink, ersetzte. Indessen bestand dabei die Gefahr, daß das geschmolzene Metall beim Erstarren den Hohlraum des Thermometers sprengte. Dufour fertigte bereits Quecksilberthermometer und Röhrchen für spektroskopische Gasuntersuchungen aus geschmolzenem Quarz an. Er begann die Arbeit mit dem Erhitzen und Abschrecken von Quarz in kaltem Wasser und ver-

schmolz die zerbröckelten Teilchen im Sauerstoffgebläse zu kleinen Stäbchen von etwa 1 mm Durchmesser. Die einzelnen Stäbchen wurden wieder in dem Gebläse erweicht und dabei spiralförmig gebogen. Durch Aufeinanderlegen und Verschmelzen der einzelnen Spiralen wurde in langwieriger, mühsamer Arbeit ein Röhrchen hergestellt, das durch Ziehen und Blasen in der Flamme weitergeformt wurde. Er beobachtete, daß das Schmelzprodukt selbst im weißglühenden Zustande in kaltes Wasser gebracht werden konnte, ohne zu zerspringen oder zu zerreißen, während Bergkristall und Quarz beim starken Erhitzen leicht zersplittern.

Le Chatelier erkannte in der minimalen Wärmeausdehnung die Ursache für dieses eigenartige Verhalten. Callendar stellte bei geschmolzenem Quarz einen mittleren Ausdehnungskoeffizienten von 0,000 000 59, also $\frac{1}{17}$ desjenigen von Platin fest.

In ähnlicher Weise wie Dufour arbeitete etwa 1901 der Engländer Shenstone. Auch er führte Quarz, der schroffe Temperaturänderungen nicht aushält und in der Flamme leicht zerspringt, zunächst durch abwechselndes Kochen und Abschrecken in Wasser in eine bröckliche Masse über und zerkleinerte die Brocken in etwa 2 mm große Körner. Ausgesuchte reine durchsichtige Körner wurden in einem Platintiegel in der Muffel bis auf etwa 1000° erhitzt und dann sofort nochmals durch Eintauchen des Tiegels in kaltes Wasser abgeschreckt und getrocknet. Diese mühsame Vorbereitung des Quarzes mußte der Verarbeitung vorangehen. Shenstone erhitze nun jedes einzelne kleinste Quarzkörnchen an der Platinpinzette im Sauerstoffgebläse, bis sich die scharfen Kanten abrundeten, preßte ein zweites Körnchen daran, verschmolz Körnchen für Körnchen bis zur Verglasung miteinander und bildete auf diese Weise ein Stäbchen, das erneut erhitzt und erweicht zu groben Quarzfäden ausgezogen wurde. Etwa fünf Fäden wurden dann um einen etwa 1 mm starken Platinstab gewickelt und von einem Ende bis zum anderen langsam bis zum Verschmelzen miteinander erhitzt, wobei der Platinstab allmählich hinausgezogen wurde. Auf diese Weise erhielt Shenstone in vielstündiger, mühsamer Arbeit (vgl. Fig. 1) ein 4 bis 5 cm langes rohes Röhrchen *a*, schmolz das eine Ende zu und verblies es zu einer Kugel *b*. Durch wiederholtes Anschmelzen eines anderen Quarzstäbchens an die

Fig. 1.



Kugel, erneutes Erhitzen und Ausziehen der Kugeln zu einem feinen Rohr entstand allmählich ein Rohr von 6 bis 8 cm Länge. Wollte er aus diesem schwachen Röhrchen solche von größerem Durchmesser erhalten, so erhitze er ein Quarzstäbchen im Gebläse und legte dieses in Form eines Ringes c um die Kugel herum, verschmolz es mit der Kugel und blies diese weiter auf. Durch Anschmelzen mehrerer solcher Ringe entstand ein Rohr von größerem Durchmesser, das beliebig in der Flamme ausgezogen, an andere Rohre angeschmolzen und wie Glas mit der Feile geschnitten und gebrochen werden konnte. Das Zusammensetzen der Kugeln erforderte eine hohe künstlerische Geschicklichkeit des Glasbläfers. Die Schwierigkeit dieser Art der Herstellung brachte es mit sich, daß diese Erzeugnisse als Rarität angesehen wurden und das Verfahren zu technischer Verwendung kaum geeignet erschien. Allerdings kamen Anfang 1902 bereits einzelne kleine Quarzglasgeräte, die nach Shenstone von der Firma Bird und Tatlock in London hergestellt worden waren, in den Handel, aber zu Preisen, die eine Aufnahme dieser Geräte in der Laboratoriumstechnik, für die sie bestimmt waren, sehr erschwerten. Das Gramm wurde damals mit 1 \mathcal{M} und mehr bezahlt. Der Aufbau kleiner Hohlkörper aus einzelnen kleinsten Stückchen geschmolzenen Quarzes war zu mühsam und zeitraubend, als daß dieses Verfahren zu einer eigentlichen Fabrikation beliebiger Gefäße führen konnte.

Die großen Vorzüge der Quarzschmelze gegenüber Glas, wie die Schwerschmelzbarkeit, die hohe Temperaturfestigkeit, regte gegen 1900 weite Kreise auch in Deutschland zu Versuchen in der Verarbeitung des Quarzes an. Die Firma Schott & Gen. in Jena stellte auf der Weltausstellung in Paris im Jahre 1900 optisch homogene Platten aus geschmolzenem Quarz von etwa 40 mm Durchmesser und 10 mm Stärke aus, die von Herschcowitsch angefertigt worden waren. Daß dieses in der optischen Glasindustrie führende deutsche Werk ihr technisches Können in der Ausstellung eines kleinen Schmelzproduktes aus Quarz zeigen wollte, ist ein deutlicher Beweis für die damals noch vorhandenen großen Schwierigkeiten der Herstellung selbst kleinster Erzeugnisse in geschmolzenem Quarz.

Die ersten Anfänge einer industriellen Entwicklung stammen von der deutschen Firma Heräus in Hanau. Bereits im Jahre 1899 gelang es Heräus, blasenfreies Quarzglas herzustellen, indem

er mehrere Stücke von Bergkristall zusammen langsam bis auf etwas über 600° erhitzte, dann ein Stück nach dem anderen im Knallgasofen verglaste und die verglasten Stücke zu einem größeren Block zusammenschmolz. Er benutzte dabei Gefäße aus Iridium, dem einzigen bekannten Material, das die zum Schmelzen nötige Temperatur von etwa 2000° aushält und keine Verunreinigungen des Schmelzgutes hervorruft. Dabei zeigte sich abgesehen von den hohen Anschaffungskosten des Iridiums der Übelstand, daß das erweichende Quarzglas so stark am Iridium anklebte, daß es nur schwer aus dem Schmelzgefäß ohne Beschädigung herauszubekommen war. Man mußte deshalb für jede neue Beschickung ein neues — sehr kostbares — Iridiumgefäß verwenden. Heräus benutzte später mit gutem Erfolge Schmelzgefäße aus gebrannter Zirkonerde, deren Schmelztemperatur mehrere hundert Grade über der des Bergkristalls liegt, und erzielte dabei unter Verbilligung der Herstellungskosten vollständig reines durchsichtiges Quarzglas. Allerdings mußte hier zur Gewinnung der erkalteten Schmelze das Zirkongefäß zerstört werden; aus den Gefäßscherben ließ sich aber mit leichter Mühe ein neues Schmelzgefäß wieder herstellen. Auch Tonerde und andere feuerfeste Stoffe (Kalk oder Magnesia) konnten mit Erfolg zur Herstellung der Schmelzgefäße benutzt werden, wenn man die Gefäßinnenwand mit Zirkonerde bekleidete. Heräus stellte als Temperatur für den Übergang von Quarz in die glasige Modifikation 1700° , also noch etwa 80° unter Platinschmelzhitze, fest. Eine Dünnpflüssigkeit setzte erst bei einer Temperatur von etwa 2000° ein, wobei Quarz gleichzeitig sehr lebhaft verdampfte, wie Gaudin schon 1839 beobachtete. Der Dampf kondensierte sich dabei zu einem weißen, flockigen Mehl aus kleinen Kügelchen.

Um die nach Heräus erschmolzenen Quarzblöcke zu Hohlgefäßen zu formen, wurde nach einem Verfahren von R. Küch aus dem Quarzblock ein sehr dickwandiger, oben offener, unten geschlossener Zylinder oder Rohrstützen durch Bohren oder Pressen hergestellt. Im ersten Falle wird zunächst ein massives zylindrisches Stück *a* (Fig. 2) durch Erweichen einer passenden Menge von Quarzglas vor dem Gebläse, eventuell unter Pressung in geeigneten Vorrichtungen, vorgerichtet, sodann wird in kaltem Zustande in der Längsachse des massiven Zylinders ein

Fig. 2.



Fig. 3.



etwa um 5 mm weites Loch *b* gebohrt (Fig. 3). Im zweiten Falle wird ein rundlicher Klumpen von Quarzglas *c* vor dem Gebläse auf die höchstmögliche Temperatur gebracht und dann mittels eines schmalen, etwas konischen Stempels *d* in ein Gesenke *e* hineingepreßt (Fig. 4 und 5). Gesenke und Stempel müssen entweder mit Platin überkleidet sein oder aus Platin oder Iridium bestehen. In beiden Fällen erhält man einen kurzen dickwandigen, einseitig geschlossenen Zylinder *f*, der in der aus Fig. 6 ersichtlichen Weise an ein vorhandenes Quarzglasrohr *g* angeschmolzen und durch Verblasen vor dem Knallgasgebläse weiter verarbeitet wird.

Fig. 4.

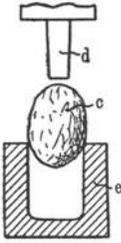


Fig. 5.

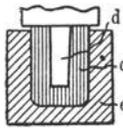
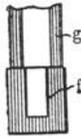


Fig. 6.



Die mit Erweichung und Umformung eines Quarzglasstückes beginnende Arbeitsweise ist nicht zu verwechseln mit der zum Formen von Glas üblichen, bei welcher schmelzflüssiges Glas in eine Form gegossen und durch Einführung eines Preßstempels in die Form zu einem Hohlkörper von vorläufiger Gestalt gepreßt wird, der an eine Pfeife geheftet und durch Blasen in die endgültige Gestalt gebracht wird. Es ist ganz unmöglich, etwa einen Klumpen geschmolzenen Bergkristalls in eine Form hineinzulegen und nun durch Hineindrücken eines Stempels einen zum Aufblasen geeigneten Hohlkörper herzustellen. Hierzu reicht der Grad der Weichheit nicht aus, denn das Glas müßte sich zwischen Stempel und den Wandungen der Form einpressen, um den Zwischenraum auszufüllen. Es muß zur Ausführung des Heräuschen Verfahrens deshalb der Klumpen des erweichten Glases einen größeren Durchmesser haben als das Gesenke, damit man dann durch Aufsetzen des Stempels und durch Ausübung eines sehr kräftigen Druckes in derselben Weise den Hohlkörper herstellen kann, wie man aus einem Metallblech durch Drücken mittels Stempels in ein Gesenke einen solchen Hohlkörper erzielt. Das Quarzglas fließt bei diesem Prozesse nicht eigentlich, sondern wird durch starken mechanischen Druck in die Länge gezogen und so in die Form hineingeführt.

Bei der Arbeitsweise zur Herstellung von Quarzglas, bei welcher der Schmelzling an der Sauerstoffgebläselampe endgültig

verarbeitet, insbesondere wie beim gewöhnlichen Glasblaseverfahren geformt wird, zeigten sich erhebliche Mängel. Da man für die Abkühlung keine besondere Vorkehrungen getroffen hatte, traten in der Masse ungleichmäßige Spannungen auf, welche bei der Verarbeitung im Gebläse nicht zum Ausgleich gekommen waren. Die vom Quarzbläser geblasenen Körper zeigten oft eine geringe Festigkeit; namentlich an den Verbindungsstellen einzelner Quarzglasformteile traten oft nach längerer Zeit Sprünge auf. Nach Siebert und Kühn führt man eine gleichbleibende Spannung dadurch herbei, daß man das zu Röhren, Hohlgefäßen, Platten usw. zu verblasende Quarzglas zunächst im Gebläse bis zum Schmelzen erhitzt und nach Bedarf gestaltet und alsdann den Gegenstand ganz allmählich aus der Gebläseflamme herausnimmt und der völligen Abkühlung überläßt. Darauf wird das betreffende Arbeitsstück nochmals in die Gebläseflamme gebracht und möglichst hoch erhitzt. Dieses Wiedererhitzen mit vorhergehender Abkühlung kann nach Bedarf wiederholt werden. Da es für die Aufhebung der Spannungen im Quarzglase von Wichtigkeit ist, den ganzen Bereich solcher Spannungen möglichst gleichmäßig zu erhitzen, und da andererseits die Ausdehnung der Sauerstoffgebläseflamme beschränkt ist, so wird der Zweck des zuvor beschriebenen Verfahrens noch weiter dadurch gesichert, daß man mit den Wandstärken der zu behandelnden Quarzglasgegenstände nicht über eine gewisse Höchstdicke hinausgeht, welche bei den üblichen Gebläselampen bei etwa 3 mm liegt. Bei größeren Wandstärken ist die sichere Aufhebung aller Spannungen durch das wiederholte Erhitzen in Frage gestellt. Vorzugsweise soll es auf solche Stellen Anwendung finden, an welchen verschiedene Quarzglassteile miteinander verschmolzen, d. h. durch Zusammenschmelzen der Stoßstellen vor der Lampe zu einem Ganzen verbunden werden; doch können auch andere Stellen in Frage kommen, z. B. der Boden eines Tiegels, der zum Zwecke des Abplattens gegen ein Stück Retortenkohle angedrückt und dabei schroff abgekühlt worden ist. Eine besondere praktische Bedeutung gewinnt dieses Verfahren für die Herstellung von Quarzglasthermometern für höhere Temperaturen (bis etwa 750° und darüber). Solche Thermometer wurden bisher überhaupt nicht hergestellt, weil es nicht möglich war, an den Verbindungsstellen, namentlich der Kugel mit der Kapillare, die Spannungen aufzuheben und ein nachträgliches Springen zu

vermeiden. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß bei der Benutzung eines derartigen Quarzglasthermometers der Innendruck bis zu 50 Atm. und darüber hinaus gesteigert wird, wodurch die Wandungen besonders hohen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Siebert und Kühn ist es gelungen, mit Sicherheit und mit völliger Beherrschung des Arbeitsverlaufes und des Werkstoffes, Quarzglasthermometer für hohe Temperaturen herzustellen, welche auch nach längerer Zeit zuverlässig sind und bei welchen ein unerwartetes Platzen des Quarzglases dauernd vermieden ist. Wesentlich ist dabei, daß bei dem Verschmelzen der Quarzglaskörper gleichzeitig auch die der Schmelzstelle naheliegenden Stellen hoch erhitzt werden und der Quarzkörper nach Fertigstellung nur ganz allmählich aus dem inneren heißesten Flammenkegel der Gebläseflamme innerhalb eines längeren Zeitraumes — bis zu einer Stunde — langsam in den vorderen kühleren geführt und erst dann völlig aus der Flamme herausgenommen und weiter abgekühlt wird. Unter Berücksichtigung aller dieser Einzelheiten des Verfahrens gelingt es, Quecksilberthermometer aus Quarzglas für hohe Temperaturen (bis 750°) herzustellen, welche auch bei dauernder Benutzung weder Sprünge zeigen, noch explodieren.

Um die Herstellung solcher Thermometer aus durchsichtigem Quarzglas zu verbilligen, benutzen Siebert und Kühn Quarzglas nur für die Stellen, die unbedingt durchsichtig sein und größere Hitze aushalten müssen, während für andere Stellen, bei denen es nur auf die Temperaturfestigkeit ankommt, undurchsichtiges Quarzglas benutzt wird. Um nun ein Quarzthermometer oder auch irgendeinen anderen, einer hohen Temperatur auszusetzenden Gegenstand herzustellen, welcher nur teilweise durchsichtig zu sein braucht, kommt es darauf an, die durchsichtige und die undurchsichtige Quarzschmelze richtig miteinander zu vereinigen. Dies kann nur durch Erhitzen der Verbindungsstelle geschehen. Um nun eine Verbindung von hoher Festigkeit zu erreichen, verwandeln Siebert und Kühn an dieser Stelle Quarzglas in durchsichtiges Quarzglas, indem sie nur dort die Erhitzung so weit treiben, daß die Luftbläschen, welche die Undurchsichtigkeit verursachen, die Wandung durchbrechen. Dieses Verfahren wird so lange wiederholt, bis an der betreffenden Stelle die genügende Menge massiven durchsichtigen Glases zum Verbinden vorhanden ist. Auf diese Weise wird ein Übergang von durchsichtigem

Quarzglas zum undurchsichtigen Quarzgut und eine feste und sichere Verbindung geschaffen. Eine scharfe Grenze wird sich deshalb dort nicht bilden und eine Bruchgefahr wird bei besonderen Beanspruchungen nicht vorhanden sein.

Auch hier blieb die Fabrikation bisher auf Herstellung von kleinen durchsichtigen, glasartigen Laboratoriumsgeräten, wie Röhren, Kölbchen, Tiegel, Deckeln, Stäben u. dgl. beschränkt. Solange die Technik auf das Knallgasgebläse als Hitzequelle angewiesen war, konnte man eben nur mit kleinen Mengen des Rohstoffes arbeiten. Sobald die der Hitze ausgesetzte und in der Flamme erweichte Stelle des Arbeitsgutes daraus entfernt wird, erstarrt die Schmelze sofort und bedarf erst immer wieder erneuter Erhitzung und Erweichung in der Flamme, um bildsam zu werden. Die mangelhafte Apparatur bildete ein Hindernis für die Entwicklung der Technik und führte zur Beschränkung der Erzeugung auf kleinste Laboratoriumsgeräte. Die weitere Entwicklung war deshalb mehr auf die Schmelzapparatur und die Ausgestaltung der Formmittel gerichtet.

II.

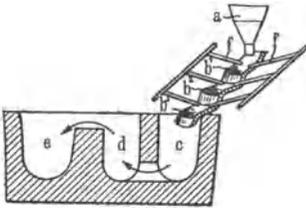
Das Schmelzverfahren im elektrischen Lichtbogen.

Einen geringen Fortschritt zeigten die Versuche, statt des Quarzes Sand als Ausgangsmaterial zu benutzen und das Knallgasgebläse durch den elektrischen Lichtbogen zu ersetzen. Durch größere Wärmeausnutzung und Konzentration der Hitze in größerem Fassungsraum wollte man dickwandige Quarzrohre erzeugen, die alsdann in üblicher Weise vor dem Knallgasgebläse verarbeitet werden sollten. Hier war es Bronn, der zuerst auf die Verarbeitung von Sand, sogenannten Kristallsand, und die Schmelzung im elektrischen Lichtbogen hinwies und auch Shenstone auf die Verwendung von Sand und die enorme Hitze der Lichtbogenöfen aufmerksam machte. Er erkannte, daß es für viele technische Zwecke, bei denen nur die Schwerschmelzbarkeit, Temperatur- und Säurefestigkeit gefordert werden, nicht mehr darauf ankommt, klares durchsichtiges Quarzglas, wie es ganz reiner Bergkristall liefert, herzustellen, daß hier vielmehr auch nicht klare Schmelzprodukte, wie sie aus der Sandschmelze entstehen, hervorragende Verwendung finden können. Tatsächlich war durch die Benutzung

des elektrischen Lichtbogens mit seiner enormen Hitze innerhalb eines feuerfesten Schmelzraumes die technische Möglichkeit gegeben, je nach Stromstärke und Ofenfassungsraum beliebig große Sandmassen zu schmelzen. Bronn übertrug seine Erfahrungen in der elektrischen Glasschmelzung, wobei beim Schmelzen von kieselsäurereichen Gemengen im Lichtbogenofen meist opalartig getrübe Gläser entstanden, auf die Quarzglaserzeugung.

Auf dem Gebiete der Glaserzeugung auf elektrischem Wege hatten bereits Becker und Voelker vorgearbeitet. Becker benutzte 1897 einen treppenartigen Schmelzkanal (Fig. 7) mit einer

Fig. 7.

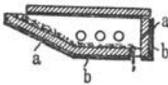


Anzahl Stufen $b^1 b^2 b^3$; jede war mit einem Kohlenpaar f versehen, zwischen denen sich der elektrische Lichtbogen, die Heizquelle, bildete. Das in den Trichter a aufgegebenen Gemenge fällt auf die erste Stufe b^1 , frittet in der Hitze des Lichtbogens zusammen, rieselt auf die zweite

Stufe b^2 herunter, wo die flüssige Fritte durch den zweiten Lichtbogen weiter erhitzt wird, um auf der dritten Stufe b^3 fertig geschmolzen zu werden. Die geschmolzene Glasmasse gelangt in den Sammelraum c . Die Zwischenwände, die den Sammelraum in drei Abteilungen cde teilen, bezwecken, die Läuterung der Schmelzmasse zu fördern.

Hier sei noch, mit Rücksicht auf die spätere Entwicklung der Ofenapparatur, der Bronnsche Schmelzraum erwähnt. Bronn

Fig. 8.



benutzte als Ofen (Fig. 8) einen mit Sand oder Dinassteinen a ausgefüllten Eisenblechkasten b und leitete in diesen die Kohlenpaare zur Bildung des Lichtbogens. Als Rohmaterial verwandte er bei seinen Versuchen, Schmelzen von Quarz zu erzeugen,

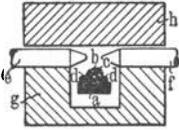
rheinischen sogenannten Kristallsand, wie ihn die Glashütten verwenden, teils im losen Zustande, teils in Form von kleinen Ziegeln in der Größe von Streichholzschachteln, wobei als Bindemittel gewöhnliches, oder mit einer Spur Wasserglas versetztes Wasser benutzt wurde. Die nach dem Schmelzen erstarrten Massen zeigten das Aussehen von durchschimmernden Emailstücken, waren stark glänzend und fast weiß, nur einzelne dünne Kanten war glasklar. Die Undurchsichtigkeit der erhaltenen Stücke scheint hauptsäch-

lich von eingeschlossenen zahllosen, winzig kleinen Luftblasen herzurühren. Solange die Quarzmasse in unmittelbarer Nähe des Lichtbogens von etwa 120 Amp. und 120 Volt (Gleichstrom) bleibt, verhält sie sich ganz wie geschmolzenes Glas und läßt sich mit Leichtigkeit auf Quarzfäden beliebiger Stärke und Länge verarbeiten. Nur darf die Quarzmasse, solange sie weich ist, nicht mit Eisenwerkzeugen berührt werden. Eisen sprüht bei Berührung selbst mit der schon ganz zäh gewordenen Quarzmasse sehr stark und verursacht auf der Oberfläche der Quarzmasse schwarze, scharf umgrenzte Flecke, die sich jedoch in der übrigen Masse, wie es scheint, nicht auflösen. Die von den Elektroden abfallende Asche macht auf der sonst sehr schönen emailartigen Masse grünlich-graue Flecke. Die dünnen Quarzfäden sind ganz durchsichtig, die stärkeren, stark glänzenden Fäden undurchsichtig. Ein Teil der Kieselsäure verdampft und kondensiert sich auf den umliegenden Gegenständen zu einem weißen, zarten, käsigen Niederschlag. Bronn erhielt dabei pfundschwere, durch und durch geschmolzene, emailartige Massen. Die dem Lichtbogen entlegener gewesen Stücke blieben zwar ungeschmolzen, waren aber in ihrem Aussehen ganz verändert und glichen blendend weißem Porzellan. Hielt man das Ganze in weißglühendem Zustande unter einen Wasserstrahl, so zerbröckelte der ungeschmolzen gebliebene Teil und ließ sich von dem geschmolzenen Kern ohne weiteres abschälen. Der ursprüngliche Eisengehalt verschwand selbst aus der ungeschmolzenen mürben Schale gänzlich, was auf die Flüchtigkeit der Eisenoxyde zurückzuführen ist. Wurden die emailartig gewordenen Quarzstücke in daumengroße Stücke zerschlagen und dann nochmals dem Lichtbogen einzeln ausgesetzt, so erhielt man vollkommen durchsichtige wasserklare Stücke.

Im Jahre 1902 trug Hutton über seine Arbeitsweise zur Herstellung von Röhren aus Quarz in der amerikanischen elektrotechnischen Gesellschaft in Niagarafalls vor. Er erkannte, daß das Sauerstoffgebläse wohl geeignet wäre, um das Schmelzprodukt selbst weiter zu formen und zu verarbeiten, nicht aber, um die Schmelzung selbst zu bewirken. Der Schmelzpunkt der Kieselsäure ist so hoch, daß eine Erweichung des Quarzes oder Sandes nur in einer kleinen Zone der Knallgasflamme erfolgt und sofort Erstarrung eintritt, sobald das Schmelzgut aus dem engen Bereich dieser heißesten Zone tritt. Große Schmelzmassen sind deshalb

nach der Gebläsemethode nicht herzustellen. Hutton stellte im geschlossenen elektrischen Ofen mit etwa 300 Amp. bei 50 Volt dickwandige Quarzglasrohre von etwa 3 mm lichter Weite her; er benutzte (Fig. 9) eine 25 bis 30 cm lange Rinne *a* aus Kohle

Fig. 9.



als Unterlage, die seitlich durch Leisten *d* aus Kohle begrenzt war. Quarz oder Sand *b* wurde in diese Rinne um einen Kohlenstab *c* herum so gelagert, daß die Rinne die äußere Form, der Stab den inneren Hohlkern für das herzustellende Rohr bildeten. *e* und *f* sind die Kohleelektroden, die in den aus den Kalksteinblöcken *g* und *h* gebildeten Ofen eingeführt sind. Die so beschickte Form wird nun langsam unter dem elektrischen Lichtbogen entlang geführt, bis der ganze Inhalt der Rinne geschmolzen ist. Es ist ersichtlich, daß bei diesem Arbeitsverfahren jedesmal die unter dem Einfluß des Lichtbogens erweichte Schmelzstelle sofort erkaltet und erstarrt, sobald der Lichtbogen weiter wandert. Das so erhaltene Quarzrohr löst sich von der Kohlenunterlage *a* leicht ab, ebenso ist auch der innere Kohlekern *c* aus dem erkalteten Rohr leicht herauszuziehen. Wird Sand statt Quarz benutzt, so ergibt sich eine durch zahlreiche eingeschlossene Luftbläschen undurchsichtige Schmelze. Das dickwandige Quarzrohr kann in der beschriebenen Weise mittels des Sauerstoffgebläses zu dünnwandigen Rohren, Kugeln, Tiegeln oder dergleichen geformt werden, wobei das Produkt mehr oder weniger durchscheinend und durchsichtig wird. Hutton betont, daß der verwendete Rohstoff von hervorragender Reinheit sein muß, da selbst Spuren von Erden und Metalloxyden, wie z. B. Kalk, Tonerde, Eisenoxyd auf die Eigenschaften der Schmelze schädlich wirken. Ferner sollen die als Unterlage dienende Kohle und die Lichtbogenkohle möglichst rein sein, um Verunreinigungen der Schmelze durch Bildung einer Haut von Siliciumcarbid, einer Verbindung des Kohlenstoffs der Kohle mit dem Silicium der Kieselsäure, zu vermeiden. Wesentliche Erfolge oder gar eine fabrikatorische Ausnutzung des Verfahrens hat auch Hutton nicht erreicht.

Askenasy (1902) legt Quarzsand auf eine geeignet geformte Unterlage und schmilzt mit dem Lichtbogen, der allmählich über die ganze Fläche des Stückes hingeführt wird. Der Sand schmilzt schon mit einem Lichtbogen von 50 Amp. in wenigen Minuten

etwa auf der Fläche eines Markstückes in der Dicke von etwa 4 mm zusammen. Führt man den Lichtbogen immer weiter, so schmilzt stets die benachbarte Partie mit der ersten zusammen usw. Will man Gefäße oder Stücke von größerer Dicke erzeugen, so streut man auf die zuerst geschmolzene Schicht eine Lage frischen Sandes und schmilzt sie ebenso zusammen. Man kann so hergestellte Tafeln aus Quarzglas mittels Lichtbogen zu Gefäßen zusammenschweißen. Askenasy will auf diese Weise große Gefäße aus Quarz herstellen, es ist aber auch hier mehr oder weniger bei Versuchen geblieben.

Einen starken Schritt vorwärts machte die Entwicklung der Quarzglas-technik, als man begann, weniger auf die Transparenz des Schmelzgutes, als auf die regelmäßige Erzeugung größerer Mengen Schmelze Wert zu legen, und sich nicht mehr die Erzeugung kunstvoller kleiner Laboratoriumsgeräte und wissenschaftlicher Apparate, für die nur geringer Bedarf vorhanden war, sondern den Wettbewerb mit technischen Artikeln verschiedener Form und Größe, wie sie die chemische Großindustrie in Glas, Ton, Steinzeug und Edelmetall in größeren Mengen brauchte, als Ziel zu setzen. Vor allem konnte man nur Arbeitsmethoden brauchen, welche die Verarbeitung des billigen reinen Glasmacherandes und eine fabrikatorische, technisch mühelose, von Kunstgriffen freie und einfache Formgebung gestatteten. Auf diesem Wege boten die Versuche von Thomson, Ruhstraat, Bredel gute Vorarbeiten, ohne allerdings zum Ziele zu führen.

III.

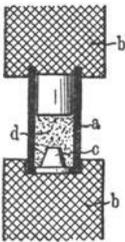
Das Schmelzverfahren im Widerstandsofen.

Verfolgt man die Patentliteratur, so erkennt man auch hier, wie in anderen technischen Gebieten, daß der Fortschritt sich nur wenig sprunghaft, sondern meist ganz allmählich entwickelt. Eine Erfindung regt immer wieder zu anderen Erfindungen an und auch der technische Bau setzt sich nur selten aus großen, tragenden Quadern, sondern aus einer Fülle gleichgerichteten kleinen und kleinsten Bausteinen zusammen. Versuche und Erfahrungen auf dem Gebiete verwandter Industrien, der Keramik, der Erzeugung von feuerfesten Steinen und des Glases, sowie

Erfindungen in der Verwertung der elektrischen Energie als Heizquelle und im Ausbau elektrischer Öfen haben fruchtbringend die Entwicklung der Quarzguterzeugung beeinflusst.

1899 hatte die deutsche Gold- und Silberscheideanstalt vorm. Rössler in Frankfurt a. M. ein Verfahren zur Herstellung feuerfester Gegenstände aus früher für unschmelzbar gehaltenen Oxyden, wie Magnesia, Tonerde, Kalk usw. ausgearbeitet, wobei der elektrische Widerstandsofen benutzt und die Widerstandskohle bereits selbst als Gußform ausgebildet, das Erzeugnis also bereits im Ofen während der Schmelzung geformt wurde. Die alte Idee, den Widerstandsofen nur zum Schmelzen zu benutzen und die Schmelze außerhalb des Ofens in die Form zu gießen, war nur durchführbar für leichter schmelzendes Gut, wie Glas. Schmelzgut mit sehr hoher Schmelztemperatur, wie Sand und Quarz, das im Ofen nicht schmelzflüssig, sondern nur weich und teigig wird und außerhalb des Ofens schnell erstarrt, war, der Ofenhitze entrückt, nur durch erneutes Erhitzen formbar und zu kleinen Geräten zu verarbeiten. Auf diesem Verhalten der Kieselsäure beruht eben die Schwierigkeit der Formgebung von geschmolzenem Sand im großen. Nach obigem Verfahren wurde

Fig. 10.



z. B. ein Tiegel aus Magnesia in folgender Weise hergestellt: Man benutzt (Fig. 10) ein Kohlenrohr *a*, das zwischen zwei größeren Kohleblöcken *b* eingespannt ist, als Heizwiderstand. Der untere Kohlenblock *b* trägt einen Zapfen *c*, welcher in den Tiegelhohlraum *d* hineinragt. Der Hohlraum *d* wird mit gepulverter Magnesia gefüllt und elektrisch erhitzt. Die Magnesia schmilzt und sammelt sich im unteren Teil des Rohres *a*. Nach dem Erkalten des Apparates läßt sich der aus dichter kristallinischer Magnesia bestehende Tiegel leicht aus dem Kohlenrohr entfernen.

Auch Hutton hatte bereits den Gedanken gehabt, den elektrischen Widerstandsofen, bei dem Kohle als Heizwiderstand in den Stromkreis eingeschaltet und beim Durchgang des Stromes sehr hoch erhitzt wird, zur Schmelzung von Sand zu verwenden. Er benutzte einen Stab aus Kohle oder irgendeine andere geeignete Kohleform als Formkern und umgab diesen mit Sand oder fein verteiltem Quarz. Beim Durchgang des elektrischen Stromes kam diese schlecht leitende Formkohle in so hohe Tempe-

ratur, daß die ihr benachbarten Sandteile miteinander verschmolzen und in eine der Form des Kohlewiderstandes entsprechende Form gelangten, welche mittels Knallgasgebläse oder im elektrischen Ofen weiter verarbeitet werden konnte. Hutton regte bereits an, durch Gestaltung des Kohlewiderstandes die Formgebung unmittelbar mit der Schmelzung zu verbinden und die Herstellung des Quarzgutgegenstandes — wenn auch roh — im elektrischen Ofen selbst vorzunehmen.

In weiterer Vervollkommnung dieser Gedanken gibt Thomson folgendes interessante Verfahren an, das aber ebensowenig zu praktischen Ergebnissen geführt hat. Er lagert Sand um einen Kohlewiderstand, der in Form und Größe den Umrissen des herzustellenden Gegenstandes entspricht. Beim Durchgang sehr starker Ströme gelangt der Sand in der Nähe der bis zur Weißglut erhitzten Kohle zum Schmelzen. Nach einiger Zeit der Einwirkung der Hitze wird der Strom abgestellt, der Schmelzofen der Abkühlung überlassen und der Widerstand mit dem Schmelzprodukt aus dem Ofen genommen. Wird der Kohlewiderstand, der in der Regel nicht an der erkalteten Schmelze haftet, entfernt, so zeigt die Schmelze die fertige Endform, wie z. B. bei Fig. 11 ein enges Rohr, bei Fig. 12 eine Schale, bei Fig. 13 ein gekrümmtes

Fig. 11.

Fig. 14.

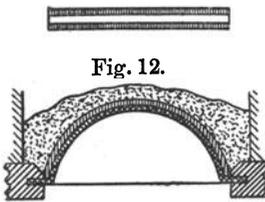


Fig. 12.

Fig. 13.

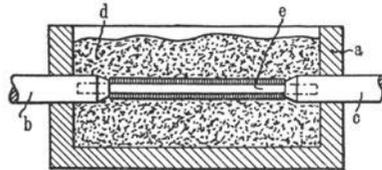


Fig. 15.

Fig. 16.

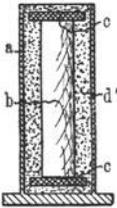


Rohr aus geschmolzenem Sand. Dort, wo sich der gekrümmte Kohlewiderstand, wie bei Fig. 13 nicht herausziehen läßt, wird er durch Ausbrennen entfernt. In Fig. 14 zeigt *a* den Ofen, *b* und *c* die Elektroden, zwischen denen der in Sand *d* eingebettete Widerstand *e* eingespannt ist. In Fig. 15 zeigt *a* das Schmelzprodukt

mit dem entsprechend geformten Kohlewiderstand *b*, Fig. 16 das Enderzeugnis, z. B. ein Rohr. Die Stärke des Schmelzproduktes ist von der Dauer des Stromdurchganges abhängig. Es ist ersichtlich, daß die Abhängigkeit der Form des Produkts von der des Kohlekerns eine industrielle, auf alle möglichen technischen Formen und Größen hinzielende Verwendung des Verfahrens behinderte. Es war unmöglich, auf diese Weise die vielen Formstücke oder Gefäße der Technik beliebig zu erzeugen, abgesehen davon, daß jeder derartige Versuch große Kraftmengen erfordert.

Ruhstraat (1902) hatte sich zur Aufgabe gestellt, dickwandige Rohre, welche architektonischen Zwecken dienen sollten, aus Sand im elektrischen Widerstandsofen herzustellen. Die endgültige Formgebung sollte erst durch nachträgliche Bearbeitung des aus dem Ofen entfernten erkalteten Schmelzgutes durch Schleifen oder Anwenden eines Knallgasgebläses erfolgen. Hier sollte also der Heizkörper nicht gleichzeitig als Form, sondern

Fig. 17.



nur als Kern dienen, um den sich das Schmelzprodukt in einer von der Stärke des Stromes abhängigen beliebigen Dicke bildete. Er benutzte (Fig. 17) einen Kasten *a*, in dem sich ein Rohr *b* aus Pappe oder Holz befand, das mit Kohle oder Graphit überzogen und zwischen zwei Kohleelektroden *c* aufgestellt war. Der hohle, beliebig große Raum *d* war mit Sand gefüllt. Wurde der Strom durch Rohr *b* geleitet, so bildete sich ein der Dauer und Stärke des Stromes

entsprechend dicker und fester Zylinder aus Quarz. Da die äußerste Sandschicht nicht schmilzt, sondern nur zusammenfrittet, hat das Produkt das Aussehen einer Sandsteinsäule und kann nach dem Erkalten entsprechend von außen bearbeitet werden, sei es mechanisch durch Schleifen oder wie bei Shenstone, Heräus u. a. durch erneutes Erhitzen im Gebläse. Später formte Ruhstraat auch im Ofen selbst, indem er Kohlewiderstände in Rohr-, Schnecken- oder Spiralenform benutzte. Diese Verfahren haben zu keinerlei praktischen Ergebnissen geführt, bildeten aber ebenso wie die vorhergehenden Arbeiten eine wichtige Stufe zu dem Verfahren, welches zuerst eine industrielle Anwendung gestattete und bahnbrechend wurde.

Von allen diesen erwähnten Methoden waren die Verfahren von Shenstone und Heräus die einzigen, wonach es wenigstens

gelang, einige technisch brauchbare Gegenstände herzustellen. Shenstone stellte 1904 bis zu 7 engl. Zoll lange Röhren in sechs Stunden Arbeitszeit her. Der Verkaufspreis betrug 22,6 sh. Etwas bessere Ergebnisse erzielte Heräus 1903. Er stellte bereits Röhren von 250 mm Länge und 20 mm Durchmesser und Gefäße von 150 bis 200 ccm Inhalt her. Der Preis dieser Kunstwerke war 1000 *ℳ* pro Kilogramm Quarzmasse. Heräus erklärte 1903 in seinem Vortrage vor dem V. Internationalen Kongreß für angewandte Chemie in Berlin, daß an eine nennenswerte Reduktion des Preises wegen der Schwierigkeit des Verfahrens und der hohen Anforderungen an die Geschicklichkeit des Arbeiters nicht zu denken wäre.

Inzwischen war aber gestützt auf die zahlreichen geschilderten Versuche und Verfahren eine Methode herangereift, die gestattete, Körper und Gegenstände beliebiger Art und Größe aus geschmolzenem Sand für alle möglichen optischen, chemischen und technischen Zwecke zu einem Preise herzustellen, der nicht erheblich von Fabrikaten aus bestem Glase und Porzellan abwich. Mit der Benutzung des billigen Glasmachersandes als geeignetes und reichlich überall greifbares Ausgangsmaterial und des elektrischen Widerstandsofens als geeignete Schmelzvorrichtung war der die heutige Quarzguttechnik begründenden Erfindung von Bottomley und Paget vom Jahre 1904 wirksam vorgearbeitet worden. In dem ersten, aber bald verlassenem Arbeitsstadium formten auch diese Erfinder noch im Schmelzofen selbst. Sie teilten auch hier schon das Arbeitsverfahren in zwei Teile, die Erschmelzung einer teigig bildsamen Masse um den Heizwiderstand herum und die sich daran unmittelbar anschließende Formgebung, indem sie mit dem Schmelzofen die Einrichtung zur Formung der Schmelze verbanden. Die Schmelze war das zunächst gebildete Zwischenprodukt, das während der Erhaltung des teigig bildsamen Zustandes geformt wurde. Auf diese Weise wollte man die Fehler früherer Verfahren, nach denen die erkaltete Schmelze außerhalb des Ofens unter erneutem Erhitzen im Knallgasgebläse geformt wurde, vermeiden. Die Erfinder benutzten zunächst Einrichtungen, wie sie vorher bereits zur Herstellung von Glashohlkörpern nach dem Sievertschen Verfahren im Jahre 1898 verwandt worden waren. Sie lagerten Sand von großer Reinheit (99,7 bis 99,9 Proz. Kieselsäure) in einer Ofenkammer auf einer gelochten Platte oder

um einen gelochten stabförmigen Kern aus Kohle, schmolzen unter Benutzung der Platte oder des Stabes als Heizwiderstand, schlossen die erweichte Schmelze an beiden Enden mit einer Kneifzange luftdicht zusammen und bliesen durch die Lochungen der Platte oder des Kernes Preßluft ein, die die plastische Schmelze in eine über dem Widerstand angebrachte Form drückte. Bei dem in Fig. 18 dargestellten Ofen besteht der Heizkörper *a* aus einem

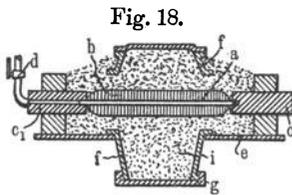


Fig. 18.

ausgebohrten Graphit- oder Kohlenstabe mit einer oder mehreren Durchlochungen am Umfange, durch welche in den Kern eingeführte Luft mitten in die geschmolzene Masse *b* eintreten kann. Der rohrförmige Heizkörper *a* ist zwischen Polklemmen und Elektroden *c* aus Graphit oder Kohle befestigt, von denen die eine *c*₁, um einen Gaskanal zu schaffen, durchbohrt und mittels eines Gashahnes *d* an eine Druckluft- oder Gasquelle angeschlossen ist. Die Art der Zuleitung des Stromes zu den Polen ist nicht dargestellt, die Stromzuführung kann in an sich bekannter Weise erfolgen.

Die Formen *f* können an einer Eisenplatte *e* befestigt werden, die als Bett für den Ofen dient. Das zu schmelzende Gut kann mit lose aufgebautem Mauerwerk umgeben werden. Um vor dem Formen der Schmelze *b* den überschüssigen ungeschmolzenen Sand *i* zu entfernen, ist die untere Form mit einer Schiebetür *g* ausgestattet, durch welche der im Ofen befindliche nicht geschmolzene Sand ausfließen kann. Die obere Form kann in geeigneter Weise mit einem abnehmbaren Deckel versehen sein, um das Einfüllen von Sand vor dem Schmelzen

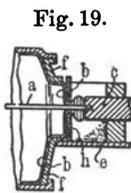


Fig. 19.

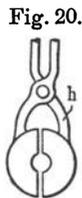


Fig. 20.

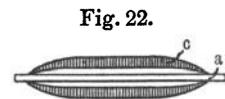
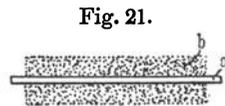
zu erleichtern. Fig. 19 zeigt eine Zange *h*, vermittelt welcher die geschlossene Masse an jedem Ende an den Kern angedrückt werden kann, um eine gasdichte Verbindung zu sichern. Fig. 20 zeigt die geschmolzene Masse *b* so weit aufgeblasen, daß sie die Form ausfüllt. Als Beispiel für die Durchführung des Verfahrens diene folgendes: Man legt einen Graphitkern von 50 cm Länge und 3,5 cm äußerem Durchmesser, dessen Wände 0,5 cm stark sind, in

zu erleichtern. Fig. 19 zeigt eine Zange *h*, vermittelt welcher die geschlossene Masse an jedem Ende an den Kern angedrückt werden kann, um eine gasdichte Verbindung zu sichern. Fig. 20 zeigt die geschmolzene Masse *b* so weit aufgeblasen, daß sie die Form ausfüllt. Als Beispiel für die Durchführung des Verfahrens diene folgendes: Man legt einen Graphitkern von 50 cm Länge und 3,5 cm äußerem Durchmesser, dessen Wände 0,5 cm stark sind, in

Glassand ein. Durch diesen Kern wird eine Stunde lang ein Strom von ungefähr 1200 Amp. und etwa 17 Volt hindurchgeleitet. Nach Beendigung der Schmelzung werden die Enden des erschmolzenen Formlings *b* rings um den Heizkern *a* mit Zange *h* geschlossen, um einen gasdichten Abschluß zu bilden. Der ungeschmolzene Sand im Ofen wird durch die Schiebetür *g* entfernt, und es wird allmählich Druckluft durch *d* eingelassen, um die plastische Masse in die Form *f* zu drücken, die aus einem Stoff besteht, welcher die Temperatur an der Außenseite der geschmolzenen Masse auszuhalten vermag. Das fertig geblasene Erzeugnis wird alsdann herausgenommen und nach Wunsch fertig gestellt.

Die Methode der Formung innerhalb des Ofens wurde aber als wenig praktisch bald verlassen. Bottomley und Paget erkannten, daß es bei einer bestimmten Regelung der Schmelzdauer und Temperatur gelingt, im elektrischen Widerstandsofen ein hohlzylindrisches Schmelzprodukt von so hoher Plastizität und doch genügender Festigkeit aus Sand zu erzeugen, daß man es im unmittelbaren Anschluß an die Erschmelzung aus dem Schmelzofen entfernen und im Freien lediglich durch Ausdehnen, sei es Aufblasen in eisernen Formen oder Ziehen, formen kann, ohne erneut erhitzen zu müssen.

Für die Durchführung des Verfahrens war die Erkenntnis wichtig, daß man die Schmelztemperatur so regeln und nach Erzielung des teigig-plastischen Zustandes der Masse soweit steigern muß, daß die Kieselsäure eben zu verdampfen beginnt. Diese Verdampfung tritt zunächst an den heißesten Stellen, d. h. rings um den Heizkern ein und durchdringt allmählich auch entferntere Schichten. Dadurch wird einmal die Schmelzmasse gleichmäßig teigig-plastisch und ferner entsteht um den Kern herum eine Zone aus Kieselsäuredampf, die auf die erweichte Masse wirkt und diese von dem zentral gelagerten Heizkohlenkern abrückt. Dadurch entsteht um den Heizkern herum eine muldenförmige hohlzylindrische Form, in welcher der Heizkern unberührt von der teigigen Masse lagert. Fig. 21 zeigt den Heizkörper *a* eingebettet im Sand *b* vor der Schmelzung, Fig. 22 die hohlzylindrische, vom Heizkern *a* abgesetzte Schmelze *c*.

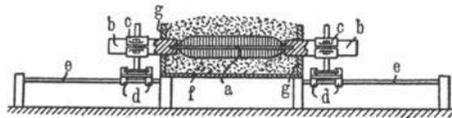


Diese Regulierung der Schmelztemperatur und die Benutzung der Gasentwicklung zum Zweck der Freilegung und leichten Entfernung des Heizkernes ist der wesentlichste Teil der Erfindung von Bottomley und Paget; dadurch allein ist es ermöglicht, den teigigen Hohlzylinder außerhalb des Ofens vor völliger Erstarrung zu formen. Bleibt die Temperatur zu niedrig, so tritt eine nicht genügende Viskosität der Schmelze ein; sie wird nicht plastisch genug, um verarbeitet werden zu können. Wird die Temperatur zu hoch getrieben, so entsteht Siliciumcarbid, eine Verbindung des Kieselsäuregases mit dem Kohlenstoff des Kohlekernes, welche sich auf dem Kern in spitzen Nadeln bildet und in die teigige Masse so hineinragt, daß der Kern nicht nur nicht gelockert und von der Masse frei, sondern noch fester mit ihr verbunden wird. Da aber die sehr schnelle Entfernung des Heizkernes aus der teigigen Schmelzmasse unmittelbar nach der Erschmelzung der springende Punkt des Verfahrens ist, so ist ersichtlich, daß die Temperaturregelung und die hierfür gegebene Arbeitsvorschrift das Wesen des neuen Verfahrens ausmacht. Hierfür waren die Einrichtungen so zu treffen, daß das Schmelzprodukt im teigigen Zustande rasch von dem stromleitenden Heizkern befreit, aus dem Ofen entnommen und ohne diesen Zustand zu verlieren, geformt werden konnte. Dieses Verfahren mußte sich in wenigen Sekunden abspielen, da die Schmelze sonst so stark abgekühlt worden wäre, daß eine Formung im Freien durch bloße Ausdehnung ohne erneutes Erhitzen unmöglich war. Man schätzt den Temperaturabfall auf 50 bis 60° pro Sekunde und die unterste Grenze der Bildsamkeitstemperaturzone auf 1350 bis 1400°. Die Abkühlung erfolgt so schnell, daß auf der äußeren Oberfläche des Formlings sogleich nach Herausnahme aus dem Ofen Spannungen eintreten, die der Ausdehnung zunächst einen stärkeren Widerstand bieten und durch Anwendung eines stärkeren Anfangsdruckes überwunden werden müssen. Es entsteht eine dünne, bereits fest erstarrte Außenhaut von geschmolzener Kieselsäure, die erst zersprengt werden muß, worauf alsdann die Formung durch Zug oder Druck leicht und schnell erfolgt.

Das Verfahren zerfällt in zwei Teile, die Erschmelzung eines stets gleichmäßig geformten teigigen Zwischenproduktes in Gestalt eines dickwandigen, hohlzylindrischen, auf beiden Seiten geschlossenen Hohlkörpers und ferner die Formung dieses Zwischen-

produktes im Freien in beliebigen Formen und Größen lediglich durch Ausdehnen. Als Formmittel benutzen die Erfinder Preßluft, deren Zuleitung je nach Bedarf geregelt werden kann.

Fig. 23 zeigt die Ofeneinrichtung, die es ermöglicht, den Hohlkörper, noch ehe er erstarrt, vom Kern und aus dem Ofen schnell zu entfernen und durch Ziehen, Blasen, Pressen weiter zu verarbeiten, solange er noch bildsam ist. Der Ofen besteht aus einem, um seine wagerechte Querachse drehbaren Kasten *f* aus Eisenblech, welcher während der Schmelzung in vertikale Lage gebracht werden kann und zur Aufnahme des Schmelzgutes dient, seine Endseiten *g* sind abnehmbar. Der Heiz-

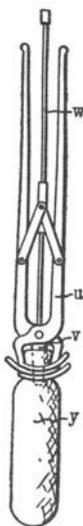


kern *a* besteht aus einer Graphit- oder harten Kohlestange, die zwischen den Enden der Elektroden *b* aus Graphit oder Kohle eingepaßt ist. Um den Heizkern zusammen mit der Elektrode an einem Ende entfernen zu können, kann die Stange an diesem Ende in die Elektrode eingeschraubt und am anderen Ende eingezapft werden. Die Elektroden werden in metallenen Haltern *c* auf metallenen Säulen unterstützt, denen der Strom durch biegsame Bleischiene zugeführt wird. Die Säulen sind so angelegt, daß sie in Querführungen *d*, die elektrisch isoliert sind, gleiten können, während die Querführungen selbst in Längsführungen *e* verschoben werden können. Das ganze Innere des Ofens wird mit reinem Glas-machersand von etwa 99,7 Proz. Kieselsäuregehalt gefüllt, in dem der Heizkern *a* zentral gelagert ist. Nachdem der Ofen mit einem Deckel verschraubt und verschlossen und in die vertikale Lage gebracht ist, wird ein Strom von 1000 Amp. und 15 Volt eine halbe Stunde lang durch Heizkern *a* hindurchgelassen, um einen geschmolzenen Quarzgutzyylinder rings um den Kern zu bilden. Nach vollendeter Schmelzung wird der Strom abgestellt, und die Elektroden werden auf den Längsführungen zurückgezogen, wobei der Graphitkern zusammen mit derjenigen Elektrode, in welche er eingeschraubt ist, herauskommt. Sobald die Elektroden und der Kern vom Ofen völlig frei sind, werden sie auf den Querführungen seitwärts geschoben und der bildsame Zylinder ist nun zur weiteren Bearbeitung bereit. Die obigen

Zahlen für Stromstärke, Spannung und Dauer der Heizung können nur als rohe Schätzung angenommen werden und wechseln je nach dem Stoffe, aus welchem der Heizkern besteht.

Um das Zurückziehen des Heizkernes zu erleichtern, ist es nötig, die Erhitzung so lange fortzusetzen, bis eine Lockerung zwischen Heizkern und Schmelzmasse durch innere Gasbildung und Gasdruck entsteht oder die Lockerung des Kernes durch Einführung von Druckluft zwischen Heizkern und Schmelzmasse mittels irgendeiner Vorrichtung, z. B. durch Benutzung eines

Fig. 24.



hohlen und durchlöcherten Heizkernes zu bewirken.

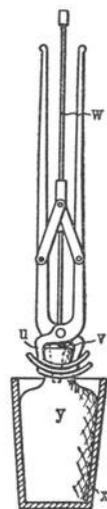
Die Temperatur des Heizkernes muß dabei so geregelt werden, daß sich die Gasschicht auf dem Kern in seiner ganzen Länge bildet, dort einen Druck auf das teigige Schmelzprodukt ausübt und dadurch den Heizkern so freilegt, daß er rasch aus der weißglühenden hohlzylindrischen Schmelzmasse herausgezogen werden kann. Unmittelbar nach der Schmelzung und Freilegung des Formlings durch Entfernen des Kernes wird noch im Ofen das eine Ende des teigigen Formlings mit Hilfe einer eisernen Schervorrichtung und Quetschzange abgeschert und dabei gleichzeitig luftdicht geschlossen. Dabei bleibt die Schmelze im Innern genügend teigig, so daß sie sich wie Butter schneiden läßt und die abgescherten Kanten sich so aneinanderlegen und miteinander so homogen vereinigen, daß ein völliger gasdichter Abschluß entsteht. In schnellster Aufeinander-

folge wird nunmehr in das andere offene Ende die Düse *v* einer Zange (Fig. 24) eingeführt, deren Schenkel *u* dieses Ende um die Düse *v* zusammenpressen und den Formling halten. Dabei aber mußte es überraschen, daß das Abscheren und Abschließen der Quarzmasse erfolgen konnte, ohne daß das eiserne Gerät verbrannte, da Eisen bei Berührung selbst mit schon ganz zähe gewordener Quarzmasse sehr stark sprüht. Die äußere Quarzhaut des Formlings ist aber bereits so weit abgekühlt und mit einer Schutzschicht von nur locker haftenden Sandteilchen umhüllt, daß das eiserne Gerät kalt bleibt und keinerlei Verunreinigung des Formlings durch Fleckenbildung hervorruft. Das mittlere Düsenrohr *w* der Zange steht mit einer Preßluftleitung durch Schläuche in Verbindung. Der mit der Zange *u* erfaßte

Formling wird schnell aus dem Ofen entnommen und nun im Freien entweder zu einem Rohr ausgezogen oder in einer eisernen Form x (Fig. 25) zu Schalen, Tiegeln, Muffen, Muffenrohren u. dergl. unter Anwendung von Preßluft aufgeblasen, die durch Rohr w und Düse v in das Innere des Formlings dringt. Fig. 25 zeigt, wie der Formling y sich unter dem Luftdruck so weit ausgefüllt hat, daß er die ganze Form x ausfüllt. Wenn der teigige Formling aus dem Ofen entnommen ist, muß zunächst eine beträchtliche Kraft aufgewendet werden, um die koerzitiven Kräfte der durch äußeres Erkalten hervorgerufenen Spannung und den Anfangswiderstand gegen Dehnung zu überwinden. Ein bildsamer zylindrischer Quarzformling von ungefähr $4\frac{1}{2}$ kg Gewicht wurde in einem Widerstandsofen bei 1000 Amp. Stromstärke und 15 Volt Spannung auf einem von reinem Glasmachersand umgebenen Graphitkern von 60 cm Länge und $2\frac{1}{2}$ cm Durchmesser während etwa 30 Minuten gebildet und nach Entfernung aus dem Ofen zu einem Rohr von über 9 m Länge ausgezogen. Dabei war ein Anfangszug von 25 kg erforderlich, der sich auf 12 kg ermäßigte, sobald der Formling sich zu strecken begann. Das nach diesem Verfahren erzielte Erzeugnis zeigt außen einen schneeartigen Überzug von losen gefritteten Sandkörnern, der nachträglich durch Schleifen entfernt wird, und innen ein teils perlmutterartiges, teils seidensilberglänzendes Aussehen und eine völlig glatte Fläche. Der äußere schneeartige Überzug bildet eine die eisernen Werkzeuge, Zangen und Formen gegen Verschmoren während des Formprozesses schützende Schicht. Der ganze Formprozeß dauert von der Entfernung des teigigen Formlings aus dem Ofen an, je nach der Größe des Erzeugnisses, etwa 8 bis 15 Sekunden.

Das undurchsichtige Material läßt sich zum Teil durch nachträgliches Erhitzen im Knallgasgebläse durchscheinend bis durchsichtig machen, wenn auf diese Eigenschaften des Quarzgutes Wert gelegt wird. In den weitaus meisten Verwendungsfällen der chemischen Technik kommt es hierauf nicht an. Man bezeichnet das undurchsichtige Erzeugnis, welches porzellanartig aussieht, mit Quarzglas zum Unterschiede von dem durchsichtigen Quarzglas.

Fig. 25



Wenn man auch zugeben muß, daß Bottomley und Paget auf den Erfahrungen der oben genannten Vorgänger, Shenstone, Thomson, Heräus, Bronn u. a. fußen, so war doch der Gedanke neu, durch bestimmte Temperaturregelung, die an sich schon durch Thomson u. a. bekannte Bildung von Gas bei der Schmelzung so zu leiten, daß ein Überdruck im Innern des Formlings entsteht, der den Heizkern von der Schmelze freilegt und dadurch erst eine so schnelle Entfernung des Kernes aus der Schmelzmasse ermöglicht, daß die Formgebung außerhalb des Ofens lediglich durch Dehnen erfolgen kann. Thomson hielt die Gasentwicklung für die Formung für schädlich und traf besondere Vorrichtungen, wie Abzuglöcher, um das gebildete Gas zu entfernen und eine direkte Berührung zwischen Heizkern und Sand zu ermöglichen. Man wußte auch von anderen Techniken, wie dem Calciumcarbidbetriebe, wie auch bei Darstellung des hochprozentigen Ferrosiliciums, wobei Gase durch Reaktion zwischen Kohlewiderstand und Schmelzgut entstehen, daß diese Gase einen Ausgang suchen und das Reaktionsgemisch durchbrechen. Um diesen Durchbruch und damit eine Verletzung des Formlings zu verhindern, brachte Thomson Gasabführungslöcher in seinem Heizkern an. Bottomley und Paget beeinflussten und benutzten zielbewußt die Gasbildung als einen wesentlichen Teil ihres Arbeitsverfahrens. Wenn es auch nicht ausgeschlossen ist, daß dort, wo der Heizkern in die Elektroden eingeführt ist, durch die bei der an diesen Stellen herrschenden niedrigen Temperaturen wohl nur halbgesinterte Masse zeitweise geringe Mengen Gas entweichen, so ist doch der Gasüberdruck im Innern des Formlings ausreichend vorhanden, um diesen ganz regelmäßig auseinanderzutreiben und den Heizkern von der Innenwand des teigig erschmolzenen Quarzformlings zu trennen.

Askenasy gibt für diesen eigenartigen Vorgang der Schmelzung und des Aufblähens folgende Erklärung: „Der Kohlekern kommt bei der hohen Belastung durch den Heizstrom in wenigen Sekunden auf außerordentlich hohe Temperaturen und der benachbarte Quarz zum Schmelzen. Die anliegenden Quarzkörper sintern zu einem porösen Rohr zusammen. Jetzt findet einerseits eine Reaktion zwischen dem geschmolzenen Quarz und Kohle unter Entwicklung von Kohlenoxyd statt, welches durch die Öffnungen des eben entstandenen porösen Rohres hindurch noch entweichen

kann, andererseits aber beginnt sofort auch ein Verdampfen bzw. Sublimieren des Quarzes. Durch verschiedene Beobachtungen, darunter durch Tammann und seine Schüler, ist festgestellt worden, daß Quarz unmittelbar über seinem Schmelzpunkt rapid verdampft. So konnte Stein in der Nähe des Schmelzpunktes aus 7 g Quarz in ganz kurzer Zeit die Hälfte verdampfen. Die verdampfte und sublimierte Kieselsäure gelangt durch die Löcher des porösen Quarzrohres hindurch in die weiter nach außen gelegenen Partien der umhüllenden Quarzglasrohrmasse, dabei die äußeren und inneren kapillaren Zwischenräume zwischen dem Quarzkern allmählich verengernd, vor allem aber eine große Wärmemenge mit sich fortführend und sie vom Heizkern aus nach den äußeren Schichten der Hülle übertragend. Diese Destillation des Quarzes von innen nach außen findet statt, so lange Quarz — wenigstens an einigen Stellen — in unmittelbarer Berührung mit dem Heizkern sich befindet. Sobald durch Verstopfung der kapillaren Öffnungen des ursprünglichen porösen Rohres das weitere Entweichen von Kohlenoxyd verhindert ist, löst sich durch die Aufblähung der Quarzglasmasse aller Quarz von dem Heizkern ab, und die weitere Erhitzung erfolgt nunmehr durch Strahlung vom Heizkern aus auf die Wand des umgebenden Quarzzyinders und von ihr aus durch Leitung nach den benachbarten Quarzmassen. Auf diese Weise scheint am ungezwungensten die Tatsache sich zu erklären, daß ein so erstaunlich dicker Quarzzyylinder von über seinem ganzen Querschnitt zunächst gleichbleibender Bildsamkeit über einem Gasraum sich ausbilden kann. Wäre es allein die Strahlung, welche gleich nach Beginn des Anheizens dem Quarz die Wärme zuführt, so müßte bei der nicht erheblichen Wärmeleitung des Quarzes die Innenfläche des Zylinders rasch so hoch erhitzt werden, daß sie sehr dünnflüssig wird, wobei ein wohl ausgebildeter Zylinder sich kaum mehr längere Zeit erhalten könnte. Der Wärmetransport geschieht jedoch, wie gesagt, vielmehr größtenteils durch Wanderung beträchtlicher Quarzmengen, welche von den heißen nach den kühleren Stellen hin destillieren. Begnügt man sich bei der Annahme dieser Erklärung mit der weiteren Annahme, daß der Quarzzyylinder über seine ganze Länge hin eine genügend dichte Wand bilde, um das Entweichen von Kohlenoxyd oder Quarzdampf zu verhindern, sobald einmal der Quarz vom Heizkern abgerückt

ist, so muß man sich damit auch zufrieden geben, daß der Druck des einmal entstandenen Kohlenoxydes zusammen mit den aus dem Heizkern ausgetriebenen Gasen ausreicht, um den Zylinder dauernd aufgebläht zu erhalten. Es war unerläßlich, daß während des Erhitzens und Herausziehens des Heizkernes, also während und nach der Entstehung des Quarzzylinders, dessen Gestalt auch dann unverändert erhalten bliebe, wenn man den anfangs vertikal gestellten Ofen kippte, bzw. wenn man den Ofen still stellte, um dann den Heizkern zu entfernen. Die Temperaturen, welche der notwendigen Bildsamkeit (1650°) und diejenige, welche der schädlichen Leichtflüssigkeit (1750°) entsprechen, liegen so nahe beieinander, daß man nicht mit Sicherheit annehmen durfte, man könne den Ofen stillstellen oder umlegen, ohne daß nicht gleichzeitig trotz der Gasschicht ein Herabsinken der oberen Hälfte des Quarzzylinders auf den nunmehr horizontal stehenden Heizkern stattfinden würde. Damit wäre aber verknüpft gewesen, daß die beiden Teile zusammenklebten, und dann war es unmöglich, ohne Schädigung des Quarzzylinders den Heizkern herauszuziehen.“

Diese Erfindung von Bottomley und Paget hat die heutige Quarzguterzeugung im Großbetriebe, die etwa erst 12 Jahre alt ist, begründet und ermöglicht, Quarzgeräte in den verschiedensten Formen und Größen, Rohre bis $2\frac{1}{2}$ m Länge, Schalen bis zu 1 m Durchmesser, Tiegel, Kessel u. dgl. bis zu 120 Liter Inhalt, große Kühlschlangen bis 15 m Rohrlänge, Muffenrohre bis 500 mm lichte Weite, Kästen bis 1 m Länge mit Hilfe weniger, geschulter Arbeiter zu Preisen herzustellen, die sehr wohl die Konkurrenz mit Porzellan aushalten können und Geräte aus Edelmetalle bereits vielfach ganz verdrängt haben.

In der Konzentration von Schwefelsäure z. B., die an das Material sehr hohe Anforderungen stellt, haben die teuren Kessel aus Platin, vergoldetem Platin, Platin-Iridium in solchen aus Glas, Porzellan, emailliertem Eisen, die durch den Angriff der Säure keinen dauernden Erfolg gezeigt haben, einen nur minderwertigen, dagegen im Quarzgut einen vollen Ersatz gefunden.

Die grundlegende Arbeitsmethode von Bottomley und Paget aus der Zeit um 1904 hat später mehrere Erfinder zu weiteren Ausgestaltungen sowohl des Schmelz- und Formverfahrens, als auch der Ofen- und Gerätekonstruktionen angeregt. Es seien hier

besonders die Arbeiten von Voelker, Wolf-Burckhardt und Bolle erwähnt.

Voelker will die Verarbeitung des im Widerstandsofen erschmolzenen, teigig bildsamen Formlings durch Formen im Freien dadurch beschleunigen, daß er anstatt Preßluft gespannte Gase durch Vergasen von verbrennbaren Fremdkörpern im Innern des Formlings unmittelbar nach dessen Erschmelzung einführt. Diese Körper können aus einer Hülse, Pille, Kapsel, aus Papier oder Pappe bestehen, die eine vergasende Flüssigkeit, wie Wasser, Öl, Alkohol oder andere Kohlenwasserstoffe oder verdampfbare Salze enthalten, oder aber man benutzt wasserhaltige Stoffe wie Kartoffeln, Rüben u. dgl. Nachdem man den hohlzylindrischen teigigen Formling aus dem Ofen entfernt, an einem Ende durch Abquetschen geschlossen und in die Form gebracht hat, bringt Voelker diese Stoffe mit Hilfe eines mit einer Stange oder einem Vorschubkolben versehenen Rohres rasch in den Formling und quetscht das noch offene Ende zu. Infolge der hohen Temperatur vergast der Fremdkörper sehr schnell, die sich entwickelnden Gase dehnen die teigige Quarzmasse aus und treiben sie fest und mit allseitig gleichmäßigem Druck gegen die Wandungen der Form. Vorzugsweise verwendet Voelker ein auf die Spitze eines Holzstäbchens gespießtes Kartoffelstück, das mit seinem Träger sofort verbrennt und vergast. Die Menge der gasbildenden Substanz ist nach Menge und Form des Formlings zu bemessen.

Um einen sicheren gasdichten Abschluß der Enden des Formlings zu erreichen, verwendet Voelker gemäß Fig. 26 eine mehrteilige Form, deren Hälften an den Stoßkanten mit Schneidkanten versehen sind, welche beim Schließen der Formhälften scherenartig aneinander vorbeigleiten, die überstehende Masse abscheren und die Enden zusammenquetschen. Die Form besteht aus den gelenkig miteinander verbundenen Hälften *a* und *b*, die vorspringende Leisten *c*, *d* oder aber Schnittkanten besitzen. Der hohlzylindrische Formling *e* wird sofort nach Erschmelzung und Entfernung des Heizkernes so auf die untere Form *a* gelegt, daß er auf den Leisten *c*, *d* ruht und sie noch ein Stück überragt. Wird nun ein Kartoffelstückchen *i* mittels Stäbchen *h* bis zur Mitte der Höhlung *m* eingeführt, und alsdann schnell und mit Druck die obere Formhälfte *b* auf die untere *a* gesenkt, so wird nach Fig. 27 der Formling bei *c*, *d* zusammengedrückt oder unter

Quetschen an seinen Enden abgeschert. Dabei vereinigen sich die gequetschten Innenrandungen im Augenblick ihrer Berührung durch die zähe teigige Masse zu einem homogenen Ganzen. Die Masse des Formlings *e* wird mit starkem Druck auseinandergetrieben, und es entsteht der in Fig. 28 dargestellte Hohlkörper, aus dem nach Entfernen der Ansätze *n* durch Zersägen zwei Tiegel, Schalen usw. *o*, *p* entstehen; *r* sind Löcher für den Luftabzug.

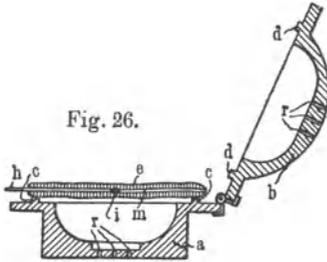


Fig. 26.

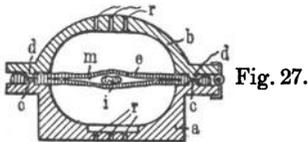


Fig. 27.

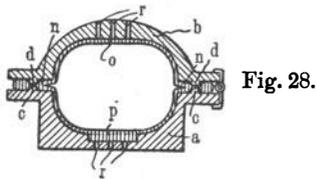


Fig. 28.

Fig. 29.

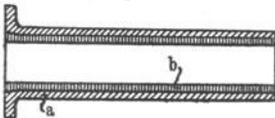
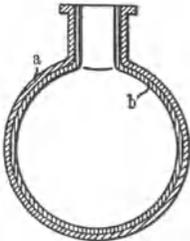


Fig. 30.



Quarzglas zu verstärken oder das Metall zu schützen, ist für die Praxis mit Schwierigkeiten verknüpft. Vorteilhafter erscheint es, nach dem Verfahren von Hensz den fertigen Metallhohlkörper im Innern mit Quarzglas auszublasen. Die Zeichnung stellt zwei Ausführungsbeispiele des Erfindungsgegenstandes dar, und zwar Fig. 29 ein Rohr *a* aus Schmiedeeisen, das im Innern mit Quarzglas *b* ausgeblasen ist, während Fig. 30 einen Ballon *a* aus Schmiedeeisen

Um jede Verunreinigung des Formlings beim Aufblasen nach Voelker zu vermeiden, empfiehlt Wolf-Burckhardt, dicht um den Heizkern eine Lage eines verbrennbaren Stoffes, der möglichst wenig Asche enthält, wie z. B. Cellulose, zu legen, die unter Gasentwicklung verbrennt.

Das Verfahren von Bottomley und Paget, mit Preßluft den Formling aus Quarzglas in Formen zu blasen, hat weiter dazu geführt, Hohlkörper aus Metall mit Quarzglas auszukleiden. Das Überziehen fertiger Quarzglasstücke mit Metallen durch Umgießen, um dadurch das Quarzglas zu verstärken oder das Metall zu schützen, ist für die Praxis mit Schwierigkeiten verknüpft. Vorteilhafter erscheint es, nach dem Verfahren von Hensz den fertigen Metallhohlkörper im Innern mit

oder Stahlguß oder dergleichen veranschaulicht, der ebenfalls im Innern mit Quarzgut *b* durch Ausblasen der fertigen Ballons mit Quarzgut ausgekleidet worden ist. Da die auszukleidenden Metallhohlkörper zweckmäßig vor dem Einbringen des zähflüssigen Quarzgutbarrens und dem darauf folgenden Ausblasen erhitzt werden, so legt sich der Metallkörper beim Wiedererkalten unter Spannung um die Quarzgutauskleidung. Ein Hauptvorteil des Verfahrens liegt darin, daß es ohne weiteres die Verwendung im Handel befindlicher schmiedeeiserner, kupferner oder anderer metallener Apparate oder Hohlkörper, wie gezogener schmiedeeiserner Rohre und Formstücke, normaler kupferner Rohre, gestattet, die in der chemischen Technik eine weit größere Verbreitung haben, als gußeiserne Apparate. Für die Technik ist das Verfahren von Hensz noch insofern von wesentlicher Bedeutung, als Quarzgut ohne Schädigung den schroffsten Temperaturwechsel aushält. In Säuren liegende metallene Heizschlangen u. dgl. können natürlich auch nötigenfalls auf der Außenseite mit Quarzgut als Schutzmittel gegen ein Angreifen der Metallkörper ausgestattet werden.

IV.

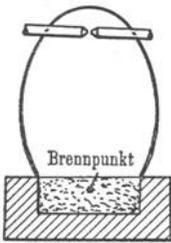
Verfahren zur Läuterung der Quarzschmelze.

Zahlreiche Erfindungen waren darauf gerichtet, ein blasenfreies, durchsichtiges Quarzglas zu erzeugen und die Schmelze in flüssigem Zustande ähnlich wie Glas zu verarbeiten. Man versuchte immer wieder in verschiedener Weise durch Steigerung der Hitze den Quarz bis zur Düninflüssigkeit zu schmelzen, um eine Läuterung der mit Luft- und Gasblasen erfüllten Schmelze herbeizuführen. Alle diese Versuche haben zu keinem praktischen Erfolge geführt, da die Kieselsäure über die Schmelztemperatur hinaus erhitzt leicht verdampft. Bringt man z. B. den elektrischen Lichtbogen nur in die Nähe der Quarzmasse, so entwickeln sich schon unterhalb 2000° Wolken von Quarzdampf.

Mehner benutzt die mittels Brennspiegel gesammelte Strahlung eines elektrischen Lichtbogens, um Quarz bis zur Düninflüssigkeit zu erhitzen. Ein elektrischer Lichtbogen ist in dem einen Brennpunkt eines elliptischen Hohlspiegels angeordnet, während eine größere Quarzmasse in die Nähe des anderen Brenn-

punktes zum Schmelzen gebracht wird. Dabei kann man die Temperatur regulieren und von den etwa 3000 bis 4000° des Lichtbogens beliebig unter 2000° ohne erhebliche Verluste an der erzeugten Wärmemenge heruntergehen. Man kann den Vorgang so leiten, daß Quarzmassen in größerer Entfernung von dem zweiten Brennpunkt ungeschmolzen bleiben und eine Gefäßwand bilden. Als Apparat dient ein Schmelzherd (Fig. 31) mit einer

Fig. 31.



darübergestülpten elliptischen, spiegelnden Haube, in deren oberem Brennpunkt ein Lichtbogen erzeugt wird. Nun ist zwar bereits vorgeschlagen worden, andere feuerbeständige Oxyde durch die mittels Brennsiegeln gesammelte Strahlung eines elektrischen Lichtbogens zu schmelzen. Bei der Erschmelzung von Quarzglas bietet aber dieses Arbeitsverfahren noch den Vorteil, daß wegen der beinahe beliebig zu regelnden Entfernung des Lichtbogens von der zu bearbeitenden Schmelze

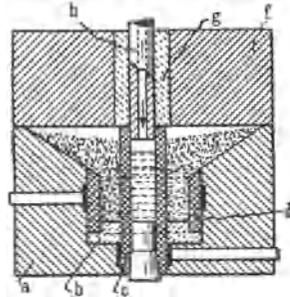
reduzierende Einflüsse und Verunreinigungen sehr viel besser verhütet werden können, als bei unmittelbarer Bestrahlung. Um eine Läuterung ohne Verflüchtigung der Kieselsäure zu ermöglichen, schließt Mehner den Schmelzapparat luftdicht ab oder umgibt ihn mit einem festen, luftdichten Mantel und setzt das Innere unter erhöhten Druck. Man verstärkt also den Herd und Spiegel durch kräftiges Kesselblech oder vertauscht den dauernd gebrauchten Spiegel zeitweilig gegen einen druckfesten. Durch den erhöhten Druck wird bewirkt, daß der Quarz dünnflüssig einschmilzt, aber nicht verdampft, obgleich die Temperatur durch Vermehrung der Stromstärke gesteigert wird. Hat man auf diese Weise einen gleichmäßigen Fluß erzielt und die Luftblasen zum Aufsteigen gebracht, so ermäßigt man die Temperatur und bringt darauf den Herd unter gewöhnlichen Druck. An dem unteren Teile des Spiegels sind Arbeitsöffnungen und oberhalb dieser mehr oder weniger durchsichtige Fenster vorgesehen. Durch die Arbeitsöffnungen wird die Glasmacherpeife eingetaucht, welche aus einem genügend widerstandsfähigen Stoffe, z. B. aus Nickel mit Iridiumende hergestellt ist. Die Verarbeitung der Quarzglasschmelze erfolgt, um Abkühlung und vorzeitige Erstarrung zu verhüten, im Ofenraum selbst.

Bei dem bekannten Heizverfahren im Widerstandsofen wird die Schmelztemperatur immer nur auf die den mittleren Heiz-

kern unmittelbar berührende und benachbarte Schmelzgutschicht übertragen, die äußeren entfernteren Sandschichten bleiben dagegen weit unterhalb der Schmelztemperatur von etwa 1700°. Bolle geht bei seinen Versuchen, die Schmelztemperatur zu erhöhen, von der bekannten Einrichtung aus, bei welcher das Schmelzgut in einem Kohlentiegel geschmolzen wird, der gleichzeitig die eine Elektrode bildet, während der Mantel, welcher die den Tiegel umgebende Heizwiderstandsmasse einschließt, die andere Elektrode darstellt. Man kann durch diese Anordnung sehr hohe Temperaturen erzielen, besonders wenn die Außenelektrode dickwandig, die Innenelektrode — der Tiegel oder dergleichen — dünnwandig ist. Während des Schmelzprozesses wird der Schmelzraum verkleinert, beispielsweise durch Einführen eines ihn ganz oder teilweise ausfüllenden Kohlekörpers. Dadurch wird die Wärmeausstrahlung nach dem oberen weniger heißen Teil des Rohres verhindert und die Schmelztemperatur erhöht. Gleichzeitig kann man mit dem den Schmelzraum verkleinernden Körper von den Innenwänden des Schmelztiegels den dort noch etwa festhaftenden

Quarz abstreifen, und schließlich kann derselbe Körper auch noch dazu dienen, die flüssige Masse aus dem Schmelzrohr oder dergleichen, beispielsweise in die Form, auszustoßen. In Fig. 32 ist ein Ausführungsbeispiel eines Schmelzofens dargestellt. In der Untermauerung *a* steht, von der Platte *b* aus Schamotte, Magnesia oder dergleichen festgehalten, das Kohlerohr *c*, welches unten mit der Stromzuführung verbunden ist. In geeignetem Abstände liegt darum der Kohlering *d*, welcher ebenfalls mit Stromzuführung versehen ist und die andere Elektrode bildet. Den Raum zwischen den Elektroden füllt die Heizwiderstandsmasse, z. B. Kohle- oder Graphitpulver aus. Das Schmelzrohr *c* ist unten zweckmäßig etwas konisch ausgebohrt, so daß der entsprechend geformte Stöpsel einen dichten Verschuß bildet. Die Untermauerung *a* ist oben trichterförmig, damit die Widerstandsmasse nach Bedarf selbsttätig in den Heizraum nachgleitet. Der Ofen wird von dem Deckel *f* überdeckt, in dessen zweckmäßig mit

Fig. 32.



Schamotte *g* ausgefütterter konzentrischer Bohrung der Körper *h* aus Kohle oder Graphit auf und nieder verschiebbar lagert. Hierbei wirkt der Gleitkörper *h* zugleich als ein die innere Form der Schmelzmasse bestimmender Kern.

In weiterer Ausgestaltung dieses Verfahrens zur Steigerung der Schmelztemperatur durch Verkleinerung des Schmelzraumes bildet Bolle den Gleitkörper zu einem Hohlkörper aus, in den

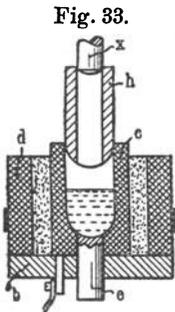


Fig. 33.

das Schmelzgut beim Eintauchen des Tauchkörpers eindringt, wobei es gleichzeitig geformt wird. Fig. 33 zeigt einen Schmelztiegel *c* und den Mantel *d* als Kohleelektroden, zwischen denen die Widerstandsmasse lagert. Beide Elektroden ruhen auf der Platte *b*. Der Tauchkörper *h* ist ausgebohrt, so daß sein Hohlraum die Schmelzmasse aufnehmen kann, welche in dem Schmelztiegel geläutert wird. In Fig. 34 ist der Tauchkörper *h* in den Schmelztiegel *c* hineingesenkt, der Hohlraum des Tauchkörpers enthält jetzt das geläuterte Schmelzgut. Nach Entfernung des Bodenstückes *e* kann der Stöpsel *x* in den Hohlraum des Tauchkörpers hineingestoßen und das Schmelzgut dadurch, daß der Stöpsel *x* den Hohlraum des Körpers *h* ausfüllt, aus demselben entfernt werden.

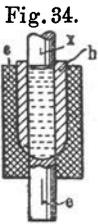


Fig. 34.

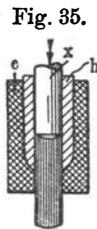


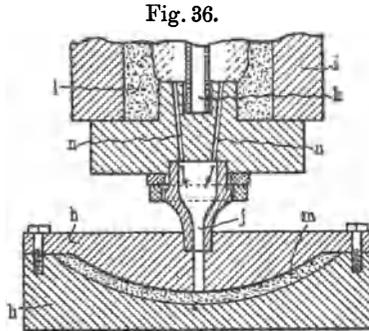
Fig. 35.

Fig. 35 zeigt, wie der Stöpsel *x* etwa die Hälfte des Schmelzgutes aus dem Tauchkörper *h* bereits ausgestoßen hat. Auf diese Weise kann man in ein und demselben Schmelztiegel jeden beliebigen Quarzglaskörper herstellen, indem man den Tauchkörper in jedem Falle den Tiegel ausfüllen läßt und dem Hohlraum des Tauchkörpers die jeweils gewünschte Form gibt.

Wolf-Burckhardt erhitzt Quarzsand im Widerstandsofen bis zur Verdampfung und leitet den Kieselsäuredampf in einen zweiten Ofen, in welchem ähnlich wie bei Thomson gleichzeitig mit der Schmelzung geformt wird. Die eingeleiteten, gegen 2000° heißen Dämpfe sollen die Schmelzmasse im zweiten Ofen durchdringen und schneller und in größerer Dicke zum Schmelzen bringen. Er benutzt nach Fig. 36 eine Form, bestehend aus zwei Teilen *h* aus geeignetem Material wie Kohle oder Graphit, zwischen

denen das Schmelzgut *m* lagert, und verbindet die Schmelzmasse *m* durch Rohr *j* mit einem darüber angeordneten Widerstandsofen *i*, in dem in bekannter Weise um den Heizkern *k* Quarzsand *l* lagert. Während der untere Ofen *h* auf Temperaturen von 1300 bis 1500° gebracht wird, wird die Temperatur im Ofen *i* auf über 2000° gebracht. Die sich um den Heizkern *k* bildenden Quarzdämpfe strömen durch die Rohre *n* und das Verbindungsrohr *j* in das Schmelzgut *m*, durchdringen dieses, schlagen sich innerhalb der einzelnen Teilchen nieder und führen eine völlige Schmelzung der Masse herbei.

Bredel versucht die Läuterung der mit Luft- und Gasblasen gefüllten, undurchsichtigen Quarzschmelze dadurch herbeizuführen, daß er zunächst auch Sand um den zentralen Heizkern im Wider-

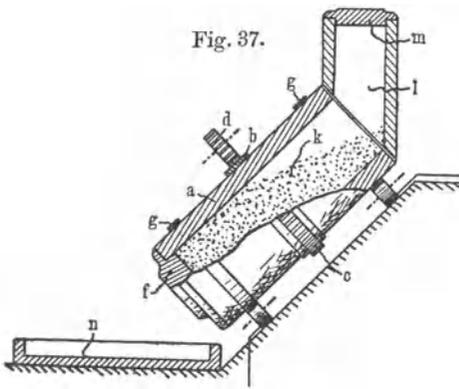


standsofen schmilzt, darauf von dem erschmolzenen Körper das außen nicht angeschmolzene Schmelzgut entfernt und die um den Kern liegende Schmelze gleichzeitig durch die Widerstandshitze vom Kern aus und durch Knallgasgebläse von außen bis zum Verschwinden der eingeschlossenen Gasblasen erhitzt. Das unmittelbar an der Form anliegende Schmelzgut schmilzt zuerst, während das äußere Schmelzgut nicht zum Sintern gelangt. Ist das Schmelzgut am Kern überall geschmolzen, so daß es eine feste Hülse bildet und leuchtet es hell durch das außenliegende ungeschmolzene Schmelzgut hindurch, so ist der Zeitpunkt zur Entfernung des überschüssigen, noch nicht gesinterten Schmelzgutes gegeben. Auf diese Weise will Bredel die Schmelzmasse völlig zur Läuterung und zur Verglasung bringen.

Voelker sucht die Klärung der Schmelze durch wiederholtes Erhitzen des Formlings im Widerstandsofen und im elektrischen Lichtbogen unter gleichzeitiger Drehung zu erreichen. Die zweite Erhitzung des erschmolzenen undurchsichtigen Hohlzylinders aus Quarz erfolgt dabei in einem elektrischen Ofen, der eine vorn und hinten offene röhrenförmige Muffel aus Kohle besitzt. Hier wird der Formling beim Durchziehen erneut erweicht und dabei gleichzeitig zu einem dünneren Rohre ausgezogen, das endlich

nochmals im Lichtbogen oder Knallgasgebläse eine dritte Schmelzung erfährt und dabei immer mehr durchsichtig wird.

Die elektrische Schmelzofen-Gesellschaft in Beuel erkennt die Schwierigkeit der Läuterung der Schmelzmasse in dem während der Schmelzung stillstehenden Ofen und in der ungleichmäßigen Erwärmung der den Heizkern umgebenden Masse. Es wird empfohlen, die Schmelzmasse in einem schräg gelagerten Widerstandsofen zu erhitzen und den Ofen während der Erhitzung in Drehung zu halten. Der Ofen (Fig. 37) besteht aus einem



zylindrischen Gefäß *a* aus Kohle, das an beiden Enden mit Stromzuführungsringen *g* versehen ist. Die Drehung kann durch einen Zahntrieb *c* herbeigeführt werden, welcher mit einem unter Zwischenschaltung unverbrennbarer Isolierschichten *b* am Zylinder *a* befestigten Zahntrieb *d* in Eingriff steht. Das

Rohgut *k* wird dem in schräger Lage auf einer geeigneten Unterlage gelagerten Ofen durch einen sich an das obere Ende desselben anschließenden, durch einen Deckel *m* oder sonstige Verschlüsse abdeckbaren Schacht *l* aus nichtleitender und feuerbeständiger Masse (Schamotte) absetzend oder ständig zugeführt und darin in Bewegung erhalten und gelangt dann, dem Fortschritte des Schmelzens entsprechend, durch die Drehung und die schräge Lage des Ofens *a* im geschmolzenen Zustande nach unten. Das untere Ende des Ofens *a*, welches anfänglich, also bei Einleitung des Schmelzens, durch einen Deckel *f* aus unverbrennbarer Masse verschlossen, nach eingeleitetem Dauerbetriebe aber auch offen gelassen werden kann, mündet zweckmäßig gerade über einem Arbeitstisch oder einer Auffangschale *n*, die gegebenenfalls von unten her elektrisch oder sonstwie beheizt werden kann. Auf diese Weise kann das Quarzgut unmittelbar nach seinem Ausstragen aus dem Ofen auf dem Tisch, in der Schale usw. verarbeitet, z. B. gepreßt, gewalzt, gezogen usw. werden.

Der Österreichische Verein für chemische Produktion in Aussig greift neuerdings wieder auf den elektrischen Lichtbogen als Heizquelle zurück, der bisher nur unregelmäßige und unreine Klumpen geschmolzenen Materials geliefert hatte. Während aber bisher der Hohlraum für den Übergang des Lichtbogens durch axiales Auseinanderziehen der anfangs zusammenstoßenden Elektroden gebildet wurde und das Entfernen der Elektroden voneinander mit Schwierigkeiten verbunden war und komplizierte Einrichtungen erforderte, wird hier der die Ofenbeschickung durchsetzende Lichtbogen ohne Verwendung eines Widerstandsstabes dadurch erhalten, daß er in einem, in der Beschickung gebildeten, von der einen Elektrode zur anderen in gegebener Länge sich erstreckenden Hohlraum erzeugt wird. Zur Durchführung des Verfahrens wird der Hohlraum in dem mit Quarzsand gefüllten Schmelzofen dadurch gebildet, daß zwischen die beiden Elektroden ein mit einer stromleitenden Substanz präparierter Streifen aus einem verbrennbaren Material, wie z. B. Papier, Holz, Baumwollgewebe usw., oder ein Röhrchen aus solchem Material in den Quarzsand oder dergleichen eingebettet wird, welches beim Schließen des Stromkreises verbrennt und dem Flammenbogen Platz macht. Hierbei bildet sich um den Flammenbogen eine dünne Schicht geschmolzenen Materials, in dessen Hohlraum der Flammenbogen weiter arbeitet und durch Wärmeausstrahlung immer mehr Material zum Schmelzen bringt, bis sich ein Rohr von einer der Einwirkungsdauer entsprechenden, beträchtlichen Wandstärke gebildet hat, das nach dem Unterbrechen des Stromes durch Ziehen, Pressen oder Blasen zu verschiedenen Gegenständen verformt werden kann.

V.

Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Quarzglas.

Das geschmolzene Produkt Quarzglas zeigt ein spez. Gewicht von 2,204 bis 2,330, während das des Bergkristalles 2,65 ist. Dünnes Quarzglas läßt sich wie Glas bearbeiten, mit der Feile schneiden, abbrechen, biegen, schmelzen, ziehen und pressen, so daß es vielfach gelingt, die zahlreichen verschiedenen Erzeugnisse des Kunstglasbläfers in der chemischen und physikalischen Geräte-

technik auch im Quarzglas, oder, wo es auf Durchsichtigkeit nicht ankommt, in dem undurchsichtigen, durch Luftbläschen getrübbten porzellanartigen Quarzglas herzustellen.

Zur Bestimmung der Biegefestigkeit legte F. A. Schulze einen von Siebert & Kühn hergestellten Quarzglasstab von etwa 10 cm Länge, 1 cm Breite und 2,72 mm Dicke mit den Enden auf zwei Stahlschneiden. Bei einer Entfernung der Schneiden von 54,2 mm brach der Stab in der Mitte bei einer Belastung von 6271 g. Die maximale Spannung stellte sich auf 6,89 kg/qmm, während die des Glases zwischen 8,520 und 8,587 kg/qmm beträgt.

Die Härte des geschmolzenen Quarzes ist geringer als der Härtewert für Bergkristall und beträgt 223 kg/qmm.

Die Wärmeausdehnung der geschmolzenen Kieselsäure ist geringer als bei allen bekannten Substanzen. Ein Quarzstab ergab nach Le Chatelier auf 100 mm Länge bei Temperaturen zwischen 0 bis 1000° einen mittleren Ausdehnungskoeffizienten von 0,000 000 7. Nach Untersuchungen von Callendar ist der mittlere Koeffizient bei ganz reinem Quarzglas 0,000 000 59, d. i. $\frac{1}{17}$ desjenigen des Platins, nach Henning 0,000 000 54.

Eine besondere Lichtdurchlässigkeit für kurzwellige ultraviolette Strahlen zeichnet Quarzglas aus. Es konnten Strahlen bis zur Wellenlänge von 220 $\mu\mu$ auf gewöhnlichen photographischen Platten aufgenommen werden.

Nach Untersuchungen von Villard über Gasdurchlässigkeit läßt Quarzglas in der Rotglut bei etwa 1000°, allerdings in geringerem Grade wie Platin, Wasserstoff durch, und zwar um so mehr, je näher man sich der Erweichungstemperatur des Quarzglas nähert. Dieselbe Beobachtung machten Jacquierod und Perrot bei Helium, und Berthelot bei 1300° in geringem Maße bei Sauerstoff und Stickstoff. Das erweichende Quarzglas verhält sich dabei wie eine tierische Membrane und ist der Endosmose und Exosmose fähig.

Boys hat bereits 1889 festgestellt, daß Quarzglas selbst in feuchter Atmosphäre ein guter elektrischer Isolator für hochgespannte elektrische Ströme bleibt.

Eine besonders hervorragende physikalische Eigenschaft ist die Temperaturfestigkeit des geschmolzenen Quarzes. Während Bergkristall bei plötzlichen Temperaturänderungen leicht springt und deshalb auch bei höheren Temperaturen sehr schwer ver-

wendbar ist, bleibt Quarzglas unempfindlich gegen Temperaturwechsel. Man kann Quarzglas unvorgewärmt in der Knallgasflamme bis zur Weißglut erhitzen und unmittelbar darauf in Eiswasser werfen, ohne daß es reißt oder zerspringt. Dieses Verhalten ist in der minimalen Wärmeausdehnung des geschmolzenen Quarzes begründet, die stärkere bleibende Spannungen nicht eintreten läßt. Dazu kommt, daß Quarzglas sich mit steigender Temperatur, etwa bis 1000°, sehr gleichmäßig ausdehnt und oberhalb 1000° und darüber wieder zusammenzieht. Beim Erkalten zieht es sich genau zur ursprünglichen Länge wieder zusammen, es werden also die nacheinander auftretenden Spannungen aufgehoben. Diese Unempfindlichkeit gegen hohe Temperatur und plötzliche Abkühlung kommt besonders bei Herstellung komplizierter Laboratoriumsgeräte und wissenschaftlicher Apparate zu statten.

Schmelz- und Verdampfungspunkt des Quarzes liegen ziemlich dicht beieinander. Der Beginn der Deformation der Struktur des Quarzes durch Eintreten des plastischen Zustandes liegt etwa bei 1600°. Darüber hinaus wird die Schmelzung sehr beschleunigt. Der glasige Zustand tritt etwa bei 1700°, die beginnende Verdampfung bei 1750° ein. Eine scharfe Grenze läßt sich nicht angeben. Bei diesen Temperaturen zeigt Quarzglas eine schwer zähflüssige, teigähnliche Beschaffenheit, die außerhalb der Heizquelle einem sehr schnellen Erstarren weicht. Dünnflüssige Schmelzen wie bei Glas lassen sich sehr schwer erzielen.

Der Brechungsexponent des Quarzglases ist kleiner als der für Bergkristall, er beträgt bei Quarzglas für Natriumlicht nach Abbe 1,4585.

Entgegen den Angaben Cramers, daß nur Quarzglasgefäße mit dünnen Wandungen jede plötzliche Temperaturänderung aushalten, während bei größeren Wandstärken die Eigenschaft verloren zu gehen scheint, berichtet Pohl von der Verwendung von ganz großen temperaturfesten Geräten aus Quarzglas der Deutsch-Englischen Quarzschmelze in Pankow-Berlin in der chemischen Großindustrie.

Nach längerem Gebrauch bei anhaltend hoher Temperatur tritt durch Übergang der amorphen Kieselsäure in die kristallinische Form eine Entglasung ein, unter der die Festigkeit leidet; das Schmelzprodukt wird spröde. Thomas führt diese Neigung

zum Entglasen darauf zurück, daß in dem mit Luftblasen erfüllten, lockeren Gefüge von Quarzglas die Umlagerung der Moleküle zu Kristallskeletten leichter vor sich geht, als in dem glasigen homogenen, durchsichtigen Quarzglas. Die zuerst für Tridymit gehaltenen Kristalle wurden von Lacroix als Cristobalit festgestellt. Rieke und Endell haben den Verlauf der Kristallisation untersucht und gefunden, daß die Cristobalittbildung von der Temperatur abhängig und der Grad der Entglasung annähernd proportional der Erhitzungsdauer ist. Bei gleicher Erhitzungsdauer von 1 Stunde hatten sich bis 1200° 0 Proz., bei 1300° 2 Proz., bei 1500° 50 Proz. und bei 1600° 90 Proz. Cristobalit gebildet. Bei zweistündiger Erhitzung auf 1200° war keine Kristallbildung, auf 1300° 5 Proz., auf 1400° 25 Proz. und auf 1500° 100 Proz. eingetreten. Da das spezifische Gewicht dabei von 2,21 bis auf das des Cristobalits 2,33 steigt, so kann man aus der Gewichtszunahme den Grad der Entglasung annähernd bestimmen.

Mit der Entglasung tritt auch eine Änderung einiger physikalischer Eigenschaften ein. Ein Verlust an mechanischer Festigkeit war bei 1180° kaum bemerkbar, selbst nicht nach achtstündiger Erhitzung, eine vierstündige Erhitzung bei 1350° ergab nach Versuchen des Englischen Nationalen Physikalischen Laboratoriums einen Stärkeverlust von 40 bis 50 Proz. Rieke und Endell haben die marktgängigen Quarzglas- und Quarzglasarten untersucht und dabei gefunden, daß Quarzglas aus Bergkristall am wenigsten leicht entglast, die anderen Sorten („Vitrosil“ der Deutsch-Englischen Quarzschmelze in Pankow und „Sidio“ von Dr. Voelker in Beuel) sich ziemlich gleich verhalten. Ein Zusatz von Titan- oder Zirkonoxyd zur Herabsetzung der Entglasung nach Vorschlag von Wolf-Burckhardt und Borchers scheint die Entglasung nach Endell-Rieke zu fördern und schädlich zu wirken. Dieselbe Beobachtung macht auch Michie. Die ungleichmäßig verteilten, mechanisch suspendierten Oxydteilchen wirken anscheinend als Kristallisationszentren. Mit der Verminderung der Festigkeit und dem Eintreten von Rissen und Sprüngen ist auch eine Vergrößerung der Gasdurchlässigkeit verbunden.

Nach Endell und Rieke treten diese Veränderungen erst bei Umwandlung des bei hoher Temperatur entstandenen β -Cristobalits in α -Cristobalit bei etwa 230°, also bei starker Abkühlung ein. Danach kann man die Haltbarkeit von Quarzglasgeräten bei

höheren Temperaturen wesentlich verlängern, wenn man sie vom ersten Gebrauch an niemals unter 300° abkühlt. Die Neigung zum Entglasen ist aber für die Verwendung von Quarzglas in der chemischen Technik von geringer Bedeutung, da hier selten Temperaturen über 1200° vorkommen. Wohl kann Quarzglas auch mit Erfolg bei höheren, nicht zu lange dauernden Temperaturen Anwendung finden.

Von besonderer Bedeutung für die chemische Technik ist die Widerstandsfähigkeit des geschmolzenen Quarzes gegen Säuren. Quarzglas ist unlöslich in Säuren jeder Konzentration und bei jeder Temperatur, außer in Fluorwasserstoffsäure, welche die Kieselsäure löst und Fluorsilicium bildet. Bei starker Erhitzung — über 400° — greift auch Phosphorsäure Quarzglas an und bildet Kieselsäurephosphorsäure. Durch kaustische Alkalien, Lösungen alkalisch reagierender Salze und Metalloxyde wird Quarzglas, besonders bei erhöhter Temperatur unter Bildung von Silicaten stark angegriffen. Gegen reine Metalle ist Quarzglas unempfindlich, ebenso gegen destilliertes Wasser.

VI.

Die technische Bedeutung von Quarzglas.

Alle diese physikalischen und chemischen Eigenschaften haben dem geschmolzenen Quarz in kürzester Zeit zahlreiche wissenschaftliche und technische Anwendungsgebiete erschlossen. Die Reinheit und gleichmäßige Zusammensetzung des Quarzglases, die Widerstandsfähigkeit gegen schroffen Temperaturwechsel, die Säurefestigkeit machen das Schmelzprodukt in hervorragendem Maße für Laboratoriumsgeräte geeignet. In allen Formen und Größen stehen Rohre, Kolben, Retorten, Tiegel, Becher, Schalen, Trichter, Verbrennungsschiffchen usw. dem Chemiker aus durchsichtigem Quarzglas und Muffeln, Trockenschränke, bei denen Verunreinigungen wie beim Metalltrockenschrank vermieden werden, Hähne, Löffel, Schlangenhöhren für Erhitzung und Kühlung, Formstücke, Rohre aller Art und zahlreiches anderes Gerät aus undurchsichtigem Quarzglas zur Verfügung. Quarzglasplatten verwendet man mit Erfolg als Ersatz für Sandbäder, Asbestunterlagen oder Drahtnetze beim Erhitzen von Kolben, Bechergläsern usw., sowie zu Ofenauskleidungen, Ofeneinsätzen und ähnlichen Zwecken.

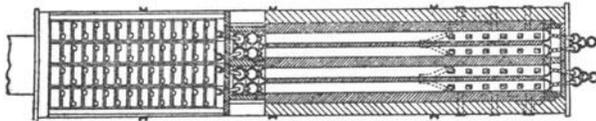
In größerem Maßstabe hat Quarzglas dank seiner Hitzebeständigkeit und Säurefestigkeit in der chemischen und elektrochemischen Industrie Verwendung gefunden. Die Fortschritte in der Vergrößerung der Abmessungen erschlossen zahlreiche neue Verwendungsmöglichkeiten, insbesondere für die Herstellung und Verarbeitung von Salpeter-, Schwefel- und Salzsäure.

In der Schwefelsäureherstellung benutzt man es vielfach statt Blei, Steinzeug, Porzellan, emailliertem Eisen und Platin. Schon seit Jahren haben die Säurefabrikanten Versuche mit Quarzglaschalen bei den kontinuierlich arbeitenden Kaskadenanlagen zur Herstellung konzentrierter Schwefelsäure angestellt. Dabei ergab sich, daß die Gefäße gegen die offene Flamme nicht mehr durch dicke Schamotteplatten geschützt zu werden brauchten und ohne Gefahr dem direkten Feuer ausgesetzt werden konnten. Das Ergebnis erhöhter Ausbeute bei geringerem Verbrauch an Heizmaterial und Verminderung des Bruches führte bald zur Einführung der Quarzglaschalenkonzentration. Die Anlagen bestehen aus zwei oder mehr nebeneinander liegenden Schalenreihen. Die Schalen sind treppenartig aufgestellt und ruhen auf offenen Ringunterlagen aus säurefester Schamotte, welche die Decke des Feuerkanals bilden. Zwischen Schale und Ring ist eine Asbestschnur eingelegt, die gleichzeitig als weiche Auflage für die Schale und zum Abschlusse des Feuerkanals von dem Eindampfraum dient. Zur Feuerung kann daher jede geringwertige Kohlenart genommen werden, da die Heizgase an keiner Stelle der Anlage mit der Säure oder deren Dämpfen in Berührung kommen. Eine Verunreinigung der Säure ist also ausgeschlossen. Die Anlage besitzt eine Vorkonzentration, um die Heizgase vollkommen auszunutzen. Hierfür wurden ursprünglich Bleipfannen benutzt, die durch Gußplatten von der direkten Berührung mit den Heizgasen geschützt waren. Da jedoch der Verschleiß durch die Angriffe der heißen Säure sehr groß blieb, wurden die Bleipfannen durch Quarzglaspfannen ersetzt, die, direkt den Heizgasen ausgesetzt, auch deren bessere Ausnutzung ermöglichen. Die Säure wird also ausschließlich in Quarzglasgeräten konzentriert. Ebenso wie während der Konzentration kommt auch die konzentrierte Säure bis zu ihrer Abkühlung nur mit Quarzglas und keinem anderen Material in Berührung, da die aus der Konzentration ablaufende heiße Säure direkt in Kühltöpfe aus Quarzglas geleitet wird. Eine

Anlage, bestehend aus zwei Reihen von je 25 Schalen in Verbindung mit 30 Pfannen als Vorkonzentration, leistet bei Einlauf der kalten Säure mit 50 bis 51° Bé. ungefähr 5000 kg Säure von 66° Bé. in 24 Stunden. Die doppelte Leistung, 10 000 kg, kann in einfacher Weise durch Nebeneinanderschaltung zweier Anlagen unter Weglassung der beiden aneinanderstoßenden Seitenwände erzielt werden. Der Kohlenverbrauch schwankt je nach dem Heizwert zwischen 15 bis 20 Proz. des Gewichtes der konzentrierten Säure.

Die Fig. 38 zeigt den Grundriß einer Anlage für eine Leistung von 10 000 kg Schwefelsäure 66° Bé. in 24 Stunden, wie sie von

Fig. 38.



den Deutschen Ton- und Steinzeugwerken-Charlottenburg in ihrer Quarzschmelze hergestellt wird.

Zum Kühlen heißer Schwefelsäure aus Konzentrationsapparaten wird ein Kühltopf aus Quarzglas benutzt, in dem etwa 1,5 t von 65,7 Bé. in 24 Stunden von 260° auf 40° abgekühlt werden. Der Kühler in Topfform besteht (Fig. 39) aus dem äußeren Gefäß *a* mit Ausguß *c* und dem inneren Rohr *b*. Das äußere Gefäß mit Ausguß steht in einem Eisen- oder Bleibehälter, durch welchen Wasser fließt. Die heiße Säure tritt in das innere Rohr ein und steigt zwischen dem Rohr und den Wänden des äußeren Gefäßes, wo es durch das äußere Zirkulationswasser gekühlt wird, empor. Zur Herstellung reiner chemischer Produkte werden Retorten oder Kolben von 3 bis 75 Liter Inhalt hergestellt. Diese Retorten werden mit Aufsatzrohren und Kühlschlangen ganz aus Quarz erzeugt, so daß das destillierte Produkt mit keinem anderen Material während des Destillierprozesses in Berührung kommt.



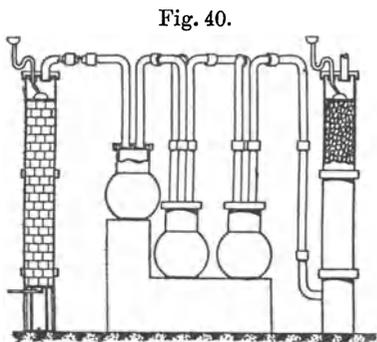
Fig. 39.

Zur Konzentration von Säure, hochsiedenden organischen Produkten usw., Erhitzung am Rückflußkühler, Temperierung saurer Flüssigkeiten usw. werden Quarzglaschlangen hergestellt, und zwar in Verbindung mit Übergangsrohren, Ablaufrohren usw. in Rohrweite von 20 bis 35 mm Durchmesser und Rohrlänge von 6 bis 15 m.

Die Anwendung von Quarzglas für Salpetersäureanlagen ist im Vergleich zur Schwefelsäure noch etwas zurückgeblieben. Dies liegt namentlich daran, daß die verschiedenen Einzelteile der bestehenden alten Anlagen für die Herstellung aus geschmolzenem Quarz zu groß und deshalb ungeeignet sind. Kleinere Stücke, wie z. B. Übersteigrohre für Valentinapparate, Rohre für Guttmanns System, werden benutzt. Ferner werden die Schutztourills, in welche beim Valentinerverfahren das Übersteigrohr mündet, aus Quarzglas hergestellt.

Die Denitriertürme aus Quarzglas sind eine bedeutende Verbesserung gegenüber Steinzeug, da sie die Verwendung von über-

hitztem Dampf zulassen. Die gewöhnliche Größe des Turmes hat 250 mm Durchmesser und etwa 2300 mm Höhe. Wenn ein Turm dieser Größe mit Dampf von 200° geheizt wird, denitriert er 8 t gemischte Säure in 24 Stunden, wenn die vorhandene Salpetersäure 5proz. ist. Der Turm besteht (Fig. 40) aus drei Rohrteilen von je 760 mm Länge; die Füllung, aus Quarzringen bestehend, ruht



auf einer Lochplatte, die auf ein Rohrstück gestützt wird. Der überhitzte Dampf wird durch ein Rohr in die Mitte des Unterteiles eingeführt, und zwar ist das Rohr so gebohrt, daß der Dampf gerade aufwärts bläst. Die Salpetersäuredämpfe treten von dem Oberteil des Turmes in einen luftgekühlten Kondensator, der aus 5 Quarzguttourills von 75 Liter Inhalt mit Aufsatzrohren besteht. Von den Tourills werden die unkondensierten Gase schließlich in einen Waschturm geführt, der mit Quarzabfällen gefüllt ist. Die Einrichtung ist eine sehr kompakte, und da die Höhe der Denitrieranlage gering ist, kann sie so aufgestellt werden, daß die heiße denitrierte Säure in eine Konzentrationsanlage fließt, ohne gehoben zu werden. Dies bedeutet eine beträchtliche Ersparnis an Arbeit und Kohle.

Bei der Salzsäureherstellung sind die Rohre zur Überführung der Gase aus dem Ofen bekanntlich einer starken Inanspruchnahme unterworfen. Auch hier finden Rohre aus Quarzglas An-

wendung. Diese Rohre sind besonders da geeignet, wo die Temperatur am höchsten ist, also in den ersten 13 bis 20 m Rohrleitung vom Ofen. Da Quarzglas nicht porös ist, schwitzen die Rohre nicht, wie Schamottrohre. Die Abdichtung der Rohre geschieht mit Asbestschnur und säurebeständigem Kitt. Flanschenrohre aus Quarzglas sind nicht geeignet, da die Ausdehnung der Bolzen oder Schellen Spannung und dadurch Bruch verursacht. Der geringe Ausdehnungskoeffizient des geschmolzenen Quarzes muß stets Berücksichtigung finden, wenn bei zusammengesetzten Apparaten auch anderes Material, besonders Metall verwendet werden. Genügend Spielraum ist für Quarzglas nötig, um den Druck anderer Substanzen bei Erhitzung der Apparate zu vermeiden.

Auch in der elektrischen Industrie hat Quarzglas vielseitige Anwendung gefunden, für die seine isolierenden und hitzewiderstehenden Eigenschaften sich von Wert erwiesen. Boys berichtete bereits 1889 über Quarz als elektrischen Isolator. Als solcher zeigt sich Quarzglas dem Glas, Porzellan oder ähnlichem Material überlegen. Die Isolierfähigkeit nimmt bei ihm bedeutend langsamer mit zunehmender Temperatur ab. Da sich auf der Oberfläche keine Feuchtigkeit kondensiert, sind auch die Oberflächenverluste viel geringer als bei Glas und anderen keramischen Substanzen. Nach einer Untersuchung der isolierenden Eigenschaften von geschmolzenem Quarz und gewissen Glassorten bei verschiedenen Temperaturen durch das Englische Nationale Physikalische Laboratorium ergeben sich folgende Vergleichszahlen:

| Geschmolzener Quarz | | Glas (Kalksoda) | | Jenaer Glas (Verbrennungsröhrchen) | |
|---------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Temperatur ° C | Widerstand Megohm/cm | Temperatur ° C | Widerstand Megohm/cm | Temperatur ° C | Widerstand Megohm/cm |
| 15 | über 200 000 000 | 18 | 500 000 | 16 | über 200 000 000 |
| 150 | „ 200 000 000 | 145 | 100 | 115 | „ 36 000 000 |
| 230 | „ 20 000 000 | — | — | 150 | „ 18 000 000 |
| 250 | „ 2 500 000 | — | — | 750 | „ 0,1—0,4 |
| 350 | „ 30 000 | — | — | — | — |
| 450 | „ 800 | — | — | — | — |
| 800 | ungefähr 20 | — | — | — | — |

In der Thermometrie findet durchsichtiges Quarzglas Verwendung, seitdem es Haagn, Chemiker der Firma Heräus, gelungen ist, beim Bau von Widerstandsthermometern Quarzglas zu verarbeiten und diese dadurch wesentlich zu verbessern. Das zuerst von William Siemens angegebene Prinzip derselben beruht auf der Messung des elektrischen Widerstandes, den ein Metalldraht beim Durchgang des elektrischen Stromes bietet. Bei den meisten reinen Metallen wächst der Widerstand mit der Temperatur. Bei den von verschiedenen Firmen gebauten Widerstandsthermometern, wobei der Platinmeßdraht auf einem Glimmerkreuz aufgewickelt ist, zeigt sich nach Geibel der Nachteil, daß sich zwischen dem Meßdraht und seiner Umhüllung eine Luftschicht befindet, die nur einen langsamen Wärmeaustausch zwischen dem Draht und seiner Umgebung gestattet; die Thermometer vermögen infolgedessen den Temperaturänderungen ihrer Umgebung nicht rasch genug zu folgen, sie sprechen zu langsam an. Bei höheren Temperaturen erleiden überdies die Drähte Dehnungen, die ihren Widerstand dauernd verändern können. Diese Fehler vermeidet das von Haagn konstruierte Quarzglaswiderstandsthermometer, das in seiner Form dem Quecksilberthermometer gleicht. Der Widerstandsdraht, der

Fig. 41.



wird auf eine etwa 2 mm dicke und 6 cm lange Quarzglaskapillare aufgewickelt; eine einseitig geschlossene Quarzröhre von 3 bis 4 mm äußerem Durchmesser wird darüberschoben, an der Luftpumpe evakuiert und mit dem Knallgasgebläse auf das Stäbchen aufgeschmolzen (Fig. 41). Der Platindraht ist also vollständig im Quarzglas eingebettet; er folgt daher jeder Temperaturschwankung des Glases und ist vor jeder Dehnung und Zerrung sowie vor der Einwirkung schädlicher Gase geschützt. Die Eigenschaften des Quarzglases gestatten, das Instrument dem schroffsten Temperaturwechsel auszusetzen.

Zu dem Thermometer gehört eine elektrische Meßeinrichtung, die auf dem Prinzip der Wheatstoneschen Brücke beruht; als Stromquelle dient ein Akkumulator. Man mißt mit der Brücke den Widerstand, den der Platindraht dem hindurchgesandten Strom bei der zu messenden Temperatur bietet, das Ableseinstrument ist aber so eingerichtet, daß es nicht den Widerstand, sondern

die Temperatur direkt anzeigt. Vorteilhaft ist, daß alle Quarzglas-thermometer genau den gleichen Widerstand besitzen, so daß beim Auswechseln eines etwa beschädigten Thermometers keine andere Eichung des Meßinstrumentes erforderlich ist. Der Meßbereich des Quarzglas-thermometers umfaßt das Gebiet von den tiefsten erreichbaren Temperaturen bis zu etwa 1000° ; höher will man das Instrument wegen der Gefahr der allmählich beginnenden Erweichung des Quarzglases nicht erhitzen. Da die Anzeige des Meßapparates von der Anordnung der Brücke abhängt, kann das Thermometer für beliebig kleine oder große Meßbereiche eingerichtet werden: es kann den gesamten Temperaturbereich von -200° bis $+1000^{\circ}$ umfassen, es gestattet aber auch bei anderen Brückenanordnungen einen Meßbereich von nur 50° über die ganze Skala zu verteilen und dann in diesem begrenzten Gebiete sehr feine Messungen auszuführen. Für technische Verwendungszwecke wird das Thermometer durch eine Montierung aus Eisen oder einem anderen Metall geschützt (Fig. 42). Der Hauptvorteil des Instruments für die Technik besteht darin, daß das Quarzthermometer und die Ablesevorrichtung sich nicht dicht nebeneinander

Fig. 42.



zu befinden brauchen, sondern durch beliebig lange elektrische Leitungen verbunden sein können. Dadurch wird es möglich, die Temperaturen von unzugänglichen Stellen an Apparaten dauernd bequem zu kontrollieren. Auch kann man die Leitungen zahlreicher Thermometer an einer Zentralstelle, etwa im Geschäftszimmer der Fabrikleitung, an einer Schalttafel zusammenlaufen lassen; dann ist es dem Betriebsleiter möglich, von seinem Platz aus an einem einzigen Meßapparate durch einfaches Umschalten die Angaben mehrerer an den verschiedensten Apparaten befindlichen Thermometer zu kontrollieren. Diese Vorteile haben dem Quarzglas-thermometer hauptsächlich in größeren Fabriken Eingang verschafft. So dient es zur Kontrolle der Temperatur von überhitztem Dampf und von Rauchgasen im Feuerfuchs in den verschiedenartigsten Betrieben; in Brauereien mißt man mit ihm die Temperatur der einzelnen Bottiche und der Malzdarren. Aber auch im Kleingewerbe wird es wohl noch weitere Verbreitung finden; Geibel weist darauf hin, wie wichtig z. B. für die Härte-

industrie die Temperaturmessung der Härtebäder, für Lackierereien die der Lackieröfen ist.

Quarzglas-thermometer mit Quecksilberfüllung haben infolge des minimalen Ausdehnungskoeffizienten den Vorteil des fast konstanten Nullpunktes gegenüber solchen aus gewöhnlichem Glase.

Durchsichtiges Quarzglas findet weiter bereits erfolgreich Verwendung bei der Herstellung optischer Instrumente, besonders von Linsen und Prismen. Thomas betont mit Recht, daß die Einzelstücke eines Compoundprismas aus gewöhnlichem Glase, selbst wenn sie aus dem gleichen Glassatz hergestellt werden, besonders aber, wenn sie von verschiedenen Schmelzungen stammen, nie ganz homogen in der chemischen Zusammensetzung und ebenso in ihrem optischen Verhalten sind, wodurch erhebliche Störungen in dem fertig zusammengesetzten Prisma auftreten. Quarzglas hat dagegen immer die gleiche chemische Zusammensetzung und das gleiche optische Verhalten, so daß mit ihm störungsfreie Compoundprismen erzielt werden können.

Bei den Le Chatelierschen Pyrometern zur Messung hoher Temperaturen bis 1600° durch Messung des Thermostromes, der in einem Paar von Metalldrähten beim Erhitzen der Lötstelle entsteht, werden Röhren aus Quarzglas als Schutz- und Isoliermittel der Thermolemente gebraucht. Quarzglasröhren können schnell gekühlt werden; es sind daher bedeutend mehr Ablesungen in einer gewissen Zeit mit einem Instrument möglich, als wenn Porzellan und ähnliches Material benutzt wird.

Heiztechnisch eignet sich Quarzglas zum Aufbau elektrischer Öfen, sei es, daß man nach Bristol Gefäße aus Quarzglas mit Heizspiralen aus Platindraht umwickelt oder es in Form von elektrischen Glühbirnen anwendet.

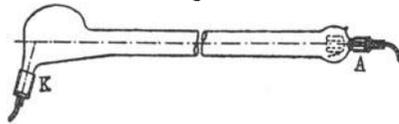
In der Beleuchtungsindustrie wird die Benutzung von Quarzglas für die Herstellung von Zylindern und Glocken, insbesondere für Gasglühlicht, Preßgas usw. empfohlen. Quarzglas gibt eine stark lichtstreuende Oberfläche und ist durch seine Temperaturfestigkeit standhafter wie Glas.

Auf ein Zukunftsbild weist Goldschmidt hin, wenn er das Quarzglas als Ersatz der Fensterscheiben aus gewöhnlichem Glase verwandt wissen will: „Unser gewöhnliches Glas läßt die ultravioletten Strahlen nicht durch. Eine Folge ist, daß wir alle, die

im Zimmer mit Glasfenstern leben, dieser Strahlen beraubt sind. Der Einfluß dürfte ein starker sein und wahrscheinlich ein ungünstiger. Es ist möglich, daß hierin eine der Ursachen liegt, warum die Zimmerbewohner blaß und matt sind, im Gegensatz zu denen, die in freier Luft leben. Stellt sich das heraus, so wäre ein wirksames Gegenmittel der Ersatz des Glases durch Scheiben, die ultraviolette Strahlen einlassen. Ein solches Glas ist geschmolzener Quarz, den die Industrie schon heute herstellt, wenn auch nicht für Fensterscheiben. Sollte sich aber seine Eigenschaft als Förderer der Gesundheit und Schützer der Augen als so wichtig herausstellen, daß man den Ersatz der Glasscheiben durch Quarzgläser anstrebte, selbst wenn die Scheiben teurer wären, so ließen sich diese Scheiben beschaffen. Dies bedeutet eine Umwälzung in einem wichtigen Zweig der Industrie.“

Die starke Durchlässigkeit von Licht, insbesondere auch der ultravioletten Strahlen, hat zu mancherlei Verwendung von Quarzglas auf optischem und chemischem Gebiete geführt. Hierbei sei die Quecksilberlampe aus Quarzglas, die im Heilverfahren bereits große Bedeutung gefunden hat, aber auch zur Beförderung chemischer Prozesse und in der Beleuchtungstechnik noch eine Zukunft haben dürfte, besonders erwähnt. Während bei den bekannten Bogenlampen zwischen zwei Kohlestiften ein Lichtbogen gebildet wird, entsteht bei der Quecksilberlampe der Lichtbogen durch glühenden Quecksilberdampf. Das Prinzip dieser Lampe und die ersten Konstruktionen haben

Fig. 43.



Leo Arons und Cooper Hewitt angegeben. Beide benutzen luftleere Glasrohre mit zwei Polgefäßen, in die Stromzuführungsdrähte münden. Im negativen Polgefäße *K* (Fig. 43) ist Quecksilber angebracht, die Anode *A* besteht aus Eisen oder Graphit, der Zuführungsdraht aus Platin. Sobald der Strom eingeschaltet und durch Kippen der Röhre das Quecksilber mit der Anode in Berührung gebracht ist, entsteht ein helleuchtender, grünlich schimmernder Lichtbogen von Quecksilberdampf, der das Rohr in seiner ganzen Länge erfüllt und sehr reich an ultravioletten Strahlen ist. Während man bei Kohlestiftlampen die leitenden Stifte häufig auswechseln muß, brennt die Quecksilberlampe ohne irgendwelche Wartung

beliebig lange. Nach den Messungen von Küch wächst die mittlere Temperatur des Lichtbogens mit der Spannung und erreicht bereits bei einer Spannung von 60 Volt 1700°. Die hohe Temperatur des Lichtfadens war der Verwendung des Quarzglases günstig. Solange man gewöhnliche Glasrohre benutzte, war man, um ein Schmelzen des Glases zu verhüten, genötigt, lange und weite Rohre (3 bis 4 cm Durchmesser und 1 m Länge bei einer Betriebsspannung von 110 Volt) zu verwenden. Diesen in der praktischen Handhabung unbequemen Rohrdimensionen gegenüber hat das Quarzglas den Vorteil der Benutzung von erheblich kleineren Rohren. Für eine Spannung von 110 Volt braucht man ein Quarzrohr von nur 8 cm Länge und 10 bis 15 mm Durchmesser, so daß man sich bei dem Bau dieser Quarzglaslampen in den Dimensionen der gewöhnlichen Kohlenbogenlampen halten konnte. Weiter zeigt die Quarzlampe nach Küch den Vorteil eines sehr niedrigen Energieverbrauches. Während der Energieverbrauch der Hewittlampe etwa 0,6 Watt pro Kerze beträgt, also sich etwas höher stellt als der der Kohlenbogenlampe, braucht die Quarzlampe nur etwa 0,25 Watt pro Kerze, stellt also eine überaus ökonomische Lichtquelle dar. Eingebaut unterscheidet sich die Küchsche Quarzlampe äußerlich nicht von der Kohlenbogenlampe. Der Brenner besteht aus einem kurzen Leuchtrohr mit senkrecht angesetzten Polgefäßen, die gebogene Metallkühler zur Ableitung der Wärme tragen. Beim Zünden wird der Brenner automatisch durch eine elektromagnetische Vorrichtung gekippt. Die Spannung an den Polen beträgt zuerst nur 20 bis 30 Volt; ein zum Anheizen dienender starker Strom durchfließt die Lampe. Zur Aufnahme der überschüssigen Spannung dienen Eisenwiderstände, die ebenso wie die Zündvorrichtung über dem Brenner im Gehäuse der Lampe angebracht sind. Sehr bald steigt dann die Spannung an den Polen, und die Stromstärke sinkt dementsprechend. Der Lichtbogen, der zuerst das ganze Rohr erfüllte, schnürt sich zusammen und nimmt in der Mitte außerordentlich hohe Temperaturen an, die bei 180 Volt Spannung auf 5000 bis 6000° geschätzt werden. Die Lebensdauer der Brenner beträgt 1000 bis 2000 Brennstunden. Ein Nachteil der Lampe ist die grüne Farbe des Lichtes, die durch das Fehlen von roten und gelben Strahlen im Quecksilberspektrum bedingt ist. Infolgedessen haben alle Gegenstände im Lichte der Queck-

silberlampe ein eigentümliches fahles Aussehen. Ihr gleichmäßig ruhiges Licht, bei dem alle Kontraste scharf hervortreten, wirkt sehr günstig in Zeichensälen, Kontoren und Fabrikräumen, weniger in Wohn- und Gesellschaftsräumen. Im Freien findet sie zur Beleuchtung von Bahnhofsanlagen, Hütten- und Bergwerksanlagen und Fabrikhöfen, ferner zur Effektbeleuchtung von Häuserfassaden Verwendung. Bei den hohen Temperaturen und dem an ultravioletten Strahlen reichen Licht ist die für Beleuchtungszwecke bestimmte Quarzlampe mit Glasglocken zu umgeben, durch die diese für das Auge schädlichen Strahlen absorbiert werden.

Die Quarzlampe spielt in der Dermatologie eine große Rolle und soll durch ihre Wirkung, geringen Stromverbrauch und Einfachheit der Wartung die Finsenlampe übertreffen.

Auf Hautgeweben bewirkt die Quarzlampe starke Entzündungen. Die energische Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die Haut macht für die Anwendung im Lichttheilverfahren eine starke Kühlung des Lampenrohres nötig. Man umgibt deshalb die Lampe mit einem Quarzglasmantel, durch den dauernd Kühlwasser fließt. Nach Kromeyer setzt man dem Kühlwasser etwa 0,01 Proz. Methylenblau zu, um der Lampe sowohl Wärme wie einen Teil der ultravioletten Strahlen zu entziehen.

Auch auf rein chemischen Gebieten hat man die ultravioletten Strahlen der Quarzlampe nutzbar zu machen versucht, um Reaktionen zu beschleunigen. Es gelingt unter dieser Einwirkung Leinöl zu bleichen, ebenso Glanzleder rasch zu trocknen.

Die energische Lichtwirkung sichert der Quarzlampe auch eine Verwendung in photographischen Kopierverfahren und für photographische Aufnahmen. Auch als stark leuchtende Taucherglampe ist sie auf Grund der Temperaturfestigkeit der Quarzröhre in Vorschlag gebracht worden.

Endlich sei noch die Verwendung der Quarzlampe für Sterilisation von keimreichen Trinkwasser erwähnt. Die bakterizide Wirkung der ultravioletten Strahlen ist so energisch, daß es genügt, keimhaltiges Wasser in dünner Schicht mit einer gewissen Maximalgeschwindigkeit über eine brennende Quecksilberquarzlampe fließen zu lassen, um sämtliche Bakterien, die das Wasser enthält, zu vernichten. Dabei soll es gelingen, mit einer einzigen im strömenden Wasser brennenden Quarzlampe stündlich 36 cbm Wasser zu sterilisieren.

Der perlmutterähnliche Silberglanz von Quarzglas, der durch die starke Lichtbrechung der eingeschlossenen kleinsten Luftbläschen bedingt und deshalb beständig ist, hat dieses Material auch in den Dienst der Ornamentik und Kunst gestellt. Man benutzt Platten aus Quarzglas für Wandverzierungen, Mosaiken und Ziergegenstände aller Art.

Noch im Jahre 1903 äußerte Heräus vor dem V. internationalen Kongreß für angewandte Chemie Zweifel über die Entwicklung der Quarzglas-technik. „Quarzglas wird immer etwas Kostbares bleiben, und die Glasindustrie hat darin keinen Konkurrenten zu befürchten.“ Und heute, wenige Jahre später, ist die Quarzglas-herstellung erfolgreich in die Reihe der methodisch durchgearbeiteten Fabrikationstechniken eingerückt und steht in scharfem, teilweise siegreichem Wettbewerb mit Glas, Porzellan, Ton u. dgl. Die obige Darstellung der umfassenden Verwendung von Quarzglas und Quarzglas zeigt die Bedeutung der sich erst im Anfangsstadium befindlichen jungen Technik und berechtigt, ihr noch große Entwicklungsmöglichkeiten auf wissenschaftlichem und technischem Gebiete vorauszusagen.

Literaturverzeichnis.

- Annalen der Physik 1900/03 — 1903/10 — 1904/14.
 Bayer. Landesgewerbezeitung 1911, Nr. 1 und 2.
 Bericht des V. internationalen Kongresses für angewandte Chemie 1903.
 Bronn, J., Der elektrische Ofen.
 Compt. rend., Bd. 108, 130, 139, 140.
 Chemiker-Zeitung **37**, Nr. 20 und 58.
 Chemiker-Zeitung, Repertorium 1905.
 Ebert, Anleitung zum Glasblasen.
 Nature 1901, Bd. 64.
 Patentschrift, Deutsche Reichs-, Nr. 101 176, 109 363, 113 817, 144 913,
 153 503, 169 958, 170 234, 172 466, 174 509, 176 512, 195 663, 203 712,
 204 537, 224 398, 226 809, 237 817, 246 912, 250 167, 250 918, 256 659,
 283 164, 290 606, 293 963, 293 964, 310 831.
 Patentschrift, Amerikanische, Nr. 778 286, 839 983.
 Patentschrift, Englische, Nr. 25 886 (1910), 15 949 (1911).
 Silicat-Zeitschrift 1913, Nr. 1.
 Sprechsaal **45**, Nr. 12.
 Technische Blätter der Deutschen Bergwerkszeitung 1914, Nr. 5, 7, 9.
 Zeitschrift für angewandte Chemie 1907, 1908, 1909, 1910, 1912.
 Zeitschrift für Elektrochemie 1903, 1913.
-



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.

Verzeichnis der bisher erschienenen Hefte siehe 3. und 4. Umschlagseite.

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 Professor **Dr. 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 Professor **Dr. B. Neumann**, Techn. Hochschule, Breslau;

Technik (Wasser-, Straßen- und Brückenbau, Maschinen- und Elektrotechnik, Schiffsbau, mechanische, physikalische und wirtschaftliche Probleme der Technik):

Herr Professor **Dr.-Ing. h. c. Fritz Emde**, Techn. Hochschule, Stuttgart;

Biologie (Allgemeine Biologie der Tiere und Pflanzen, Biophysik, Biochemie, Immunitätsforschung, Pharmakodynamik, Chemotherapie):

Herr Professor **Dr. phil. et med. Carl Oppenheimer**, Berlin-Grünwald.