Die zweite Gruppe der Silikate heißt:

II. Glas,

und zwar sind dies fast ohne Ausnahme Silikate von weniger einfacher Zusammensetzung. Sie enthalten fast immer zwei und mehr Metalle, deren chemischer Charakter verschieden ist.

Einer der einfachsten Fälle ist, daß in dem Silikat Natrium oder Kalium, also ein Alkalimetall, und außerdem Calcium, also ein chemisch verschiedenes Metall in Form von Polysilikat, vorhanden ist.

Polysilikate dieser Art sind in der Natur sehr verbreitet; doch kennt man kein natürlich vorkommendes Glas, also kein Doppelsilikat, welches gerade einem unserer Gläser, wie sie künstlich hergestellt werden, gleichkommt.

Da sich nun in ägyptischen Königsgräbern Glasgegenstände gefunden haben, welche ohne Zweifel mehrere tausend Jahre vor Christi Geburt dorthin gebracht wurden — namentlich viele Glasstücke, die als Spielmarken angesehen werden —, so steht zunächst fest, daß schon im Altertum Glas gemacht worden ist. Wenn man weiter fragt, wo denn im Altertum die Rohstoffe, die man für Glas nötig braucht, vorhanden waren, nämlich Soda, Kalk und Sand, so führt dies ebenfalls nach Ägypten. Kalk und Sand waren überall vorhanden, aber natürliche Soda, also Alkali gab es nur in Ägypten, wie bei Soda angegeben ist. Das ist für die Sache wesentlich, weil die ältesten Angaben über die Darstellung des Glases auf Soda Bezug nehmen.

Plinius insbesondere gibt an, daß phönizische Kaufleute am Ufer des Flusses Belus gelandet seien und sich ihr Mahl bereitet haben, indem sie die Kessel durch einige Stücke Soda stützten. Diese Soda sei mit dem Sande des Bodens zu Glas zusammengeschmolzen.

Die Hitze unter einem Kochkessel reicht zwar nicht aus, um Glas zu bilden. Aber man weiß genau, daß die Ägypter Tonwaren gemacht und hohe Temperaturen herzustellen verstanden haben.

Es spricht also alles dafür, daß in Ägypten Glas erfunden wurde, etwa dadurch, daß man Bergkristall schmelzen wollte, um Waffen oder Schmuck zu machen, und daß Kalk und Soda als Flußmittel benutzt wurden.

Dem entsprechend ist das Glas im einfachsten Falle Silikat von Calcium und Alkalimetallen, überhaupt von Alkalimetallen und anderen, im chemischen Sinne davon verschiedenen Metallen. So zusammengesetzte Silikate haben folgende

Eigenschaften. Sie sind bei leicht erreichbarer Temperatur gut schmelzbar und gehen langsam aus dem geschmolzenen Zustande in

den festen über. Zu der Schmelzbarkeit kommt infolgedessen die Formbarkeit; man kann dem geschmolzenen und allmählich wieder erstarrenden Glase jede beliebige Form geben.

Solche Silikate sind frei von der Neigung, zu kristallisieren; sie bleiben klar und nehmen keine selbständige Form an.

Polysilikate, die nur Alkalimetall, Calcium und Aluminium enthalten, sind farblos und durchsichtig. Erst das Vorhandensein anderer Metalle, z. B. des Eisens, bedingt die Farbe, die so häufig bemerkbar ist.

In dünnen Fäden erscheint das Glas weiß, wenn keine färbenden Metalle vorhanden sind; diese dünnen Fäden beweisen die Festigkeit des Glases, sogar eine gewisse Elastizität. Sie sind erstens sehr dünn zu ziehen, mit einem Durchmesser von 0,006—0,012 mm, und zweitens vollkommen biegsam wie Wolle.

In dieser und jeder anderen Form zeigt gutes Glas eine Widerstandsfähigkeit gegen die Atmosphärilien, die lange vorhält im Vergleich mit Wasserglas. Erst bei sehr langer Dauer und bei ungewöhnlichen Verhältnissen tritt der Angriff zutage, den viele alte Glassachen zeigen, wenn sie der Luft und dem Wasser ausgesetzt waren.

Zum Beispiel zeigt dies ein aus sehr gutem Glase, und zwar aus zwei gleichen, sehr dünnen Platten zusammengesetzter, in der Sammlung des Berliner Technologischen Instituts befindlicher Teller, der angeblich altgriechisch ist, in charakteristischer Weise. Die Masse irisiert auf der Oberfläche, sie zeigt alle Farben des Regenbogens, weil sich dünne Häutchen allmählich ablösen und der Angriff ins Innere weitergeht. Dieser Angriff wird von der Feuchtigkeit ausgeübt, und zwar zunächst unter Mitwirkung der Kohlensäure der Luft.

In trockener Luft hält sich das richtig hergestellte Glas, wie das Beispiel alter Gläser in ägyptischen Gräbern beweist. Aber im Freien, überhaupt wenn Wasser und Kohlensäure zusammenwirken, tritt bei langer Dauer dieser Einwirkung die sogenannte Verwitterung ein.

Dieser Prozeß wurde schon bei dem aus Feldspat entstehenden Kali erwähnt und ist später, bei Kaolin, wieder aufzunehmen. Er besteht darin, daß die Silikate, welche mehrere Metalle enthalten, in lösliche und schwerlösliche Bestandteile zerfallen.

Im einfachsten Falle hat man:

$$\underset{\text{Calciumkaliumsilikat}}{(Si_2O_5K)_2Ca} + \underset{\text{Kohlensäure}}{H_2CO_3} = \underset{\text{Calciumsilikat}}{(Si_2O_5H)_2Ca} + \underset{\text{Kaliumkarbonat.}}{CO_3K_2}$$

Die Alkalien gehen langsam in Lösung, während wasserhaltiges Calciumsilikat zurückbleibt. Dadurch wird das Glas undurchsichtig und verliert allmählich an Zusammenhang.

Bei höherer Temperatur hat Wasser allein, auch ohne Kohlen-

säure, diese Wirkung, natürlich erst nach langer Dauer. Das sieht man an Wasserstandsgläsern der Dampfkessel und in entsprechenden Fällen; sie werden matt oder bekommen sogar Rinnen. Es gibt also ungünstige Bedingungen.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen sind nicht allein die Atmosphärilien, sondern auch heißes Wasser, ja sogar verdünnte Säuren und Alkalien ohne Einfluß. Nur Fluorwasserstoff wirkt sofort auf Glas ein, andere Säuren, auch Alkalien, erst sehr langsam.

Zeigt sich nun eine Einwirkung der Atmosphärilien in kürzerer Zeit oder in auffallendem Maße, so ist dies ein Beweis, daß das Glas nicht die richtigen Mengenverhältnisse der Metalle, vielmehr zu viel Alkali enthält und sich dadurch in seinem Verhalten dem Wasserglas nähert, matt wird oder sogar abbröckelt. Andererseits hat ein Überwiegen des Calciums in dem Polysilikat auch seine Folgen: das Glas wird schwer schmelzbar und spröde.

Die Zusammensetzung sogenannter Normalgläser ist diejenige von Trisilikaten der Alkalien und des Calciums. Sie entspricht ungefähr der Formel

$$K_2(Na_2)CaSi_6O_{14}\,^{1)},$$

d. h. wir haben Trisilikat der Alkalien und Trisilikat des Calciums im Verhältnis 1 : 1. Bei diesen Normalgläsern kann das Verhältnis etwas anders sein, ohne Schädigung der Eigenschaften, so daß man die Sache allgemeiner ausdrückt durch die Formel:

$$x(R'_2Si_3O_7),\ y(R''Si_3O_7)$$

und hinzufügt, daß $x : y$ nicht gerade gleich 1 : 1 zu sein braucht. Es kann sich bis $x : y = 5 : 7$ verschieben.

Dabei ist zunächst angenommen, daß R′ gleich Kalium oder Natrium, R″ gleich Calcium ist. Außerdem kann als einwertiges Metall Thallium in Betracht kommen. Als zweiwertige Metalle spielen Blei, Barium und Zink wesentliche Rollen, mit anderen Mengenverhältnissen.

Also erhalten wir: R′ = K, Na, (Tl).

R″ = Ca, Pb (Ba, Zn).

Unwesentlich, aber häufig vorhanden sind Aluminium, Eisen usw.

Im ganzen gilt natürlich solche Zusammenstellung der Elemente bei einem amorphen Stoffe wie Glas nur als allgemeiner Ausdruck, der niemals mit der Strenge einer chemischen Formel zutrifft.

Neben der Kieselsäure ist zuweilen Borsäure in geringerer oder größerer Menge als Bestandteil der Gläser vorhanden.

---

[1]) $K_2(Na_2)$ bedeutet: Kalium oder Natrium.

In welcher Weise die Eigenschaften der Gläser von der chemischen Zusammensetzung abhängen, hat sich besonders bei dem Thermometerglas herausgestellt.

Gläser, welche Kalium und Natrium enthalten, ziehen sich, wenn sie einmal auf 100° oder mehr erwärmt wurden, äußerst langsam wieder zusammen, so daß der Hohlraum eines Thermometers zunächst größer bleibt, als er ursprünglich war. Der Nullpunkt wird also nicht richtig von dem Quecksilber bezeichnet. Die Differenzen sind zwar klein, aber doch so, daß sie bei Fiebermessungen wesentlich sind.

Deshalb mußte ein besonderes Thermometerglas gemacht werden, und zwar hat sich ergeben, daß die Zusammenziehung bald und richtig erfolgt, wenn das Glas nur ein Alkalimetall, also nur Kalium oder nur Natrium enthält.

Diese Abnormität stimmt mit derjenigen des Schmelzpunktes bei den einfachsten Silikaten; auch da war Wasserglas, welches Kalium und Natrium enthält, merklich leichter schmelzbar als diejenigen, die nur ein Metall enthalten.

Ein zweites Beispiel ist folgendes, bei dem das Verhalten bei rascher Erhitzung in Betracht kommt. Nach Einführung des Auerschen Gasglühlichts mußte ein besonderes Glas für Lampenzylinder gemacht werden, nämlich ein für Temperaturunterschiede wenig empfindliches, weil die meisten gebräuchlichen Zylinder beim Erglühen der sogenannten Glühstrümpfe zersprangen.

Im ganzen ist also zu sagen: obwohl man Normalgläser hat, die eine gewisse Vorstellung von dem Mengenverhältnis der wichtigsten Bestandteile geben, bleibt das Wort Glas ein Sammelbegriff, der ziemlich verschiedene Dinge bezeichnet, und zwar ist die Verschiedenheit schon lange nicht mehr etwas Zufälliges. Sie wird mit Rücksicht auf diesen oder jenen Verwendungszweck absichtlich bewirkt. Die bei den Eigenschaften vorangestellte Schmelzbarkeit z. B. wird größer oder kleiner gemacht, je nach dem Gebrauchszweck, und es wurde schon angegeben, daß ein Glas für den gewöhnlichen Gebrauch zu schwer schmilzt, wenn es eine von der Formel erheblich abweichende Menge von Calcium enthält.

Ebenso wie Calcium in größerer Menge, so machen Magnesium und Aluminium das Glas strengflüssig. Leichter schmelzbar dagegen wird es durch Blei, auch durch Wismut und durch Borsäure. Während dies ohne Färbung erfolgt, wirken Eisen und Mangan ebenfalls in dem Sinne, daß das Glas leichter flüssig wird, sie geben aber immer dem Polysilikat eine Farbe, wie später noch zu erörtern ist.

Das spezifische Gewicht und die optischen Eigenschaften werden besonders durch Blei und durch Thallium verändert.

Calciumalkaliglas ist das leichteste, und zwar hat es das spezifische Gewicht von 2,3—2,4; aluminiumhaltiges und eisenhaltiges ist in der Regel etwas schwerer; große Unterschiede aber werden hauptsächlich durch Blei und Thallium bewirkt, so daß man mit Gläsern, die diese Metalle enthalten, zum spezifischen Gewicht von 6,3 kommt. Zugleich verändern diese beiden Metalle die optischen Eigenschaften. Das bleihaltige Polysilikat hat im allgemeinen viel mehr Glanz als Calciumalkalisilikat. Dies in Verbindung mit der Schleifbarkeit des Bleiglases bedingt dessen allgemeine Verwendung für Dekorationszwecke. Auch erhöhen Blei und Thallium den Brechungsexponenten des Glases bedeutend. Während Calciumalkaligläser den Exponenten des Bergkristalls 1,5 (auf den luftleeren Raum bezogen) gerade noch erreichen, kommt man mit Blei- und Thalliumalkalisilikaten viel weiter, nämlich bis zu 1,962 (Bleisilikatglas von Schott) bzw. 1,96 (Thalliumglas von Lamy). Damit wird jedoch der Diamant noch lange nicht erreicht, denn dieser hat den Brechungsexponenten 2,506.

Alle gut hergestellten Gläser sind in hohem Grade undurchlässig für Gase. Z. B. hat G. Quinke 17 Jahre lang Kohlensäure und Wasserstoff unter Druck von 44—120 Atmosphären in Gläsern ohne Verlust gehalten. Was »gut hergestellt« bedeutet, ist später zu erörtern: Temperatur bei der Darstellung, Dauer der Abkühlung usw. sind auf die physikalische Beschaffenheit des Glases von großem Einfluß.

Die chemische Untersuchung des Glases ist im allgemeinen diejenige der Silikate. Die meisten der in Betracht kommenden schweren Metalle verraten sich durch die Farbe, Blei aber nicht. Dieses wiederum ist qualitativ zu erkennen, weil Bleiglas beim Glühen nach einiger Zeit schwarz wird. Die Schwärzung verschwindet wieder, wenn man einen Salpeterkristall auf der geschwärzten Stelle schmilzt.

Nächst der chemischen Untersuchung sind physikalische Proben auch hier unentbehrlich, wie wir an Beispielen noch sehen werden. Sie beziehen sich auf Härte, spezifisches Gewicht, optische Eigenschaften usw.

Nach dieser Zusammenstellung der wesentlichen Eigenschaften kommen wir zu der Darstellung. An die Darstellung schließt sich die Formgebung und die Färbung bzw. Veredelung der hergestellten Massen und Gebrauchsformen. Es ist daher von vornherein zu betonen, daß für die verschiedenen Zwecke ganz verschiedene Sorten hergestellt werden.

Viele davon sind auf den ersten Blick so ähnlich, daß eine Ver-

wechselung leicht ist. Im ganzen haben sich die Unterschiede durch neuerdings gemachte Beobachtungen verschärft, und man weiß die Darstellung dem Zwecke anzupassen. Immerhin bleibt auf diesem Gebiete noch viel zu tun. Es werden auch immer höhere und bestimmtere Anforderungen an die Beschaffenheit der für verschiedene Zwecke erforderlichen Glasarten gestellt, so daß die Darstellung erst im allgemeinen zu beschreiben und dann auf Besonderheiten Rücksicht zu nehmen ist. Daraus ergeben sich die Abschnitte. Wesentlich handelt es sich um folgende, deutlich verschiedene Glassorten:

1. Kaliumcalciumsilikat, Kristallglas, vollkommen farblos, strengflüssig, durch chemische Beständigkeit ausgezeichnet. Es wird besonders in mäßig abgekühltem Zustande durch Blasen usw. zu »Hohlglas« geformt.
2. Natriumcalciumsilikat; in dickeren Schichten bläulichgrün gefärbt, weil immer Spuren von Eisen durch Natriumsulfat usw. hineinkommen. Schon bei »Sulfat« verriet sich der Eisengehalt durch die gelbe Farbe, die beim Glühen auftritt. Das Glas ist weniger strengflüssig und weniger beständig. Auch die Art der Verarbeitung ist eine andere. Es wird gegossen, d. h. in vollkommen flüssigem Zustande verarbeitet.
3. Zwischen diesen beiden erkennbar verschiedenen Glassorten stehen natürlich solche von mittlerer Zusammensetzung, Kalium und Natrium enthaltend. Sie haben demgemäß mittlere Eigenschaften, und zwar weniger bestimmte, so daß sie für schon erwähnte Zwecke auszuschalten sind. Namentlich sind aber folgende Glassorten davon zu unterscheiden.
4. Aluminiumcalciumalkaliglas, welches für die gewöhnlichen Flaschen dient und färbende Metalloxyde, besonders Eisen und Mangan, in größerer Menge enthält.
5. Kaliumbleiglas, ausgezeichnet durch Glanz und Lichtbrechung, d. i. z. B.: a) Flintglas für optische Zwecke, zuweilen auch Borsäure und Baryt enthaltend, b) Straß, die Grundlage der künstlichen Edelsteine. Dazu gehört auch Thalliumglas; es ist ein Thalliumbleisilikat mit hohem Brechungsvermögen.
6. Absichtlich gefärbte Gläser und Kunstgläser der verschiedensten Art.

Für alle sind die wichtigsten Rohstoffe folgende:

1. Kieselsäureanhydrid; es kommt in Form von Sand, Quarz oder Feuerstein zur Verwendung. Sand und Quarz pflegt man, um sie mürbe zu machen, auszuglühen; die anderen sind zu zerkleinern.

Für farbloses Glas muß natürlich die Kieselsäue frei von Eisen usw. sein. Wenn das Eisen, wie häufig der Fall, mechanisch als Oxyd

beigemengt ist, so kann man durch Waschen mit Salzsäure reinigen. Ferner ist zur Reinigung der Kieselsäure Schlämmen oft von Bedeutung, weil sich schwere Beimengungen als untere Schicht absetzen und organische Stoffe obenauf schwimmen. Der Schlämmprozeß wird bei Porzellan noch näher erläutert werden.

Für geringere Glassorten nimmt man mit Vorliebe einen Sand, der Mergel oder Ton enthält, weil dieser leicht schmilzt. Natürlich kommt dann Aluminium in die Schmelze, und ist gewöhnlich eine Färbung durch Eisen oder Mangan in den Kauf zu nehmen. Auch Borsäure erhöht die Schmelzbarkeit der Masse.

2. Alkalien werden von Kieselsäureanhydrid bei Schmelzhitze aufgenommen, und zwar nicht nur aus Karbonaten, sondern auch aus Sulfiten. Es kommt also nicht nur Soda und Pottasche zur Verwendung, sondern viel Natriumsulfat, obwohl dieses als solches nicht zersetzt wird, mit Kohle. Im einfachsten Falle hat man unter Reduktion des Sulfats zu Sulfit:

$$\underset{\text{Natriumsulfat}}{Na_2SO_4} + \underset{\text{Kohlenstoff}}{C} + \underset{\text{Kieselsäure}}{SiO_2} = \underset{\text{Natriumsilikat}}{Na_2SiO_3} + \underset{\text{Kohlenoxyd}}{CO} + \underset{\text{Schwefeldioxyd.}}{SO_2}$$

Dabei ist zweierlei zu bemerken. Erstens darf die Menge des Kohlenstoffs nicht zu groß sein, weil sonst Schwefelnatrium, Na_2S, gebildet und das Glas dunkel wird: auf 100 Teile trockenes Sulfat kommen nur 8—9 Teile Kohle. Ferner enthalten bei solchem Betriebe, der meist ein großer ist, die Gase der Schmelzöfen viel Schwefeldioxyd und Kohlenoxyd.

3. Kalk findet in der Regel als Kreide oder Kalkstein oder Marmor Verwendung; er gibt also auch Kohlensäure ab. Wo Calciumsilikat (Wollastonit) zur Verfügung steht, z. B. in Böhmen, ist dies ein vortrefflicher Zusatz. Die Bildung des Doppelsilikats erfolgt in der Schmelze in allen Fällen.

Infolge etwaiger Unreinigkeiten der Kalksalze entstehen natürlich ebenfalls Gläser, die gefärbt sind und Aluminium enthalten, weil durch die Materialien Ton hineingebracht wird.

4. Blei wird als Oxyd oder Karbonat und besonders als Mennige verwendet. Letztere hat allgemein den Vorzug, weil Bleioxyd durch mancherlei Vorgänge reduziert werden kann; nur muß Mennige frei von Eisen und Mangan sein. Denn bei den bleihaltigen, zur Dekoration oder für optische Zwecke dienenden Gläsern ist die Farblosigkeit meistens wesentlich.

In gewisser Weise kann man die Glasmasse auch reinigen, und zwar beim Schmelzen.

Als »Reinigungsmittel« dient z. B. Manganhyperoxyd, also Braun-

stein seit ältester Zeit; daher der Name Pyrolusit von πῦρ, Feuer, und λούω, waschen. Dabei könnte Oxydation mitwirken, indem Eisenoxydul in Eisenoxyd verwandelt wird, so daß statt der grünen Farbe des Oxyduls nur eine schwach gelbliche des zum Teil abgeschiedenen, in geringer Menge in das Silikat aufgenommenen Oxyds erscheint. Richtiger ist wohl, optische Wirkung anzunehmen; Mangansilikat ist violett und hebt als Komplementärfarbe den gelblichen Ton auf, den das Glas etwa erhalten könnte, z. B. eine schwache Wirkung von Schwefelnatrium.

Ähnliches wird durch Selen- und Didymsalze bewirkt. Braunstein dient außerdem, wie Eisenoxyd, um Flaschenglas nach Bedarf und Gewohnheit dunkel zu färben.

Von dem Zusatz der arsenigen Säure, der früher allgemein war, kann jetzt Abstand genommen werden. Das Schwefeldioxyd aber will seiner Menge nach ebenso kontrolliert sein wie beim Betriebe der Schwefelsäurefabriken: sonst treten Schädigungen der Vegetation in der Umgegend ein.

Dadurch sind die Rohstoffe gegeben für die Hauptglassorten. Es wird also noch abgesehen von Kunstprodukten, z. B. dem gefärbten Glase, weil für dieses noch besondere Zusätze in Betracht kommen.

Die vier ersten Glassorten sind es, welche für die großen Betriebe der Scheibenfabrikation, der Flaschen- und Trinkglasherstellung usw. dienen. Für diese sind die Rohstoffe leicht zu beschaffen.

Weit schwieriger ist es, für die Mengenverhältnisse der Rohstoffe leitende Gesichtspunkte anzugeben. Sucht man zunächst aus der Zusammensetzung der besten Erzeugnisse Rückschlüsse zu ziehen auf die anzuwendenden Mengen der Rohstoffe, so ergeben schon diese Analysen große Verschiedenheiten.

Auch in den Calciumalkalisilikaten einfachster Zusammensetzung fehlen andere Bestandteile nicht ganz. Man kann aber annehmen, daß Aluminium oder Eisen aus Verunreinigungen der Rohstoffe herstammen, ohne auf die Konstitution des Silikats wesentlichen Einfluß zu haben. Doch sieht man schon hieraus, daß die für Normalglas gegebene Formel sich nicht etwa mit Notwendigkeit aus den Analysen ergibt, sondern nur das allgemeine Bild ist, welches die Summe unserer Erfahrungen veranschaulicht.

Jene Formel lehrt erstens, daß in gutem Glase etwa 1 Atom Calcium auf 2 Atome Alkalimetall kommt, also 9,6 % Natrium auf 8,4 % Calcium; sodann, daß die Kieselsäure in Form einer höheren Anhydrosäure vorhanden ist und Silizium selbst etwa 30 % ausmacht.

Zur Bildung der höheren Anhydrosäure ist Zeit erforderlich; man muß nicht nur zusammenschmelzen, sondern die Masse lange Zeit

hindurch geschmolzen halten. Bei diesem Schmelzen, das meist mit Gasentwicklung bei hoher Temperatur vor sich geht, werden nun die Alkalien in merklicher Weise verflüchtigt. Deshalb muß man mehr Alkali zusetzen, als sich nach der Formel berechnet.

	Z. B. ergibt die Berechnung		Wirklich verwendet werden	
Kieselsäureanhydrid	100	Teile	100	Teile,
Natriumsulfat . .	36	«	38	«
Kohlenstoff . . .	1,5	«	2,5	«
Calciumkarbonat .	37	«	37	«

Dies entspricht einem Alkaliverlust von 6 %. Bei mancher Ofeneinrichtung kann der Verlust aber auch 10 % betragen; also muß man noch mehr verwenden. Dies kann nur durch Vorversuche entschieden werden.

Auch für die übrigen Zusätze sind keine allgemeinen Regeln zu geben.

Ein Satz für braunes Flaschenglas besteht z. B. aus gewöhnlichem, gelbem Sand, Kalk meistens als Karbonat, Natriumsulfat und Holzkohle als Hauptbestandteilen. Dazu kommt Manganhyperoxyd (Braunstein), Eisenoxyd (Rückstände anderer Betriebe) und viel Glasbrocken der gleichen Masse, damit man immer die gleiche Farbe erzielt.

Auch das gewöhnliche Flaschenglas muß gleichmäßig beschaffen sein. Es wird, wie alle derartigen Dinge, nach Probe geliefert, und man würde glauben, Ausschußware zu bekommen, wenn es verschieden aussähe. Man macht es außerdem absichtlich dunkel, d. h. von gleichmäßig brauner Farbe, weil helle Flaschen für Getränke nicht gern genommen werden. Es besteht die Ansicht — ob mit Recht oder Unrecht, sei dahin gestellt —, daß Bier und Wein in hellen Flaschen durch Licht angegriffen werden. Also ist die Färbung im allgemeinen schon hier üblich.

Die Mengenverhältnisse, die für diesen oder jenen Zweck passen und dann natürlich immer einzuhalten sind, müssen also durch Vorversuche ermittelt werden.

Im übrigen ist das Gemenge der trockenen Rohstoffe nicht allein

1. zu einer Schmelze zu vereinigen, sondern es handelt sich
2. um das Verhalten der Schmelze bei der hohen Temperatur, die erforderlich ist, in längerer Zeit, und
3. um das Verhalten der Schmelze beim Abkühlen.

Schon der Übergang solcher Gemenge in den Zustand des klaren flüssigen Glases ist weder einfach noch schnell. Die Temperatur, welche zur Bildung des Silikats von verwickelter Zusammensetzung erforderlich ist, schätzt man auf 1200—1250°. Dabei entstehen die

Polysilikate als eine Masse, die wie dicker Zuckersaft fließt. Sie ist aber nicht sofort durchsichtig und klar. Ungelöste Massen, sogenannte »Glasgallen«, bleiben übrig, und Gase (Kohlenoxyd, Schwefeldioxyd oder Bestandteile der Luft) werden von der zähflüssigen Schmelze eingeschlossen.

Wollte man also die Masse in diesem Zustande, wenn Gallen und Gase darin verteilt sind, erstarren lassen, so würde man ganz Unbrauchbares erhalten. Die Konsistenz des Zuckersaftes gestattet aber die Ausscheidung fester und gasförmiger Stoffe, wenn man nur die nötige Zeit läßt und nachhilft.

Den stattfindenden Vorgang nennt man die »Läuterung«. Für diesen Vorgang ist also die Temperatur von 1200° lange zu erhalten, so daß im ganzen diese Temperatur, die schon für den Schmelzprozeß erforderlich ist, in den Glasöfen herzustellen und stundenlang zu erhalten ist.

Bei solcher Konsistenz und Temperatur treten die Gase aus. Ferner kann man die Abscheidung der Gallen bewirken, weil sie schwerer sind. Der Grundsatz, auf welchem die Trennung der Glasmasse von den Nebenstoffen beruht, ist demnach wieder auf die Benutzung der Verschiedenheit des spezifischen Gewichts zurückzuführen.

Diese Trennung wird begünstigt, wenn man die Masse etwas bewegt. Man darf aber nicht an Rührvorrichtungen oder dergleichen denken, weil diese wieder alles vermengen würden. Die zur Trennung mitwirkende Bewegung besteht vielmehr darin, daß die Masse in Fluß gebracht wird, namentlich dadurch, daß man sie über eine Erhöhung, eine sogenannte Brücke fließen läßt.

Daraus erklären sich die Einrichtungen der Schmelzgefäße und Schmelzöfen.

In diesem für die Läuterung herzustellenden und einige Zeit zu erhaltenden Zustande kann das Glas zwar gegossen, aber nicht durch Blasen und Pressen verarbeitet werden, weil es zu flüssig ist. Dafür ist eine wesentlich niedrigere Temperatur, Rotglut, d. i. 700—800°, am passendsten. Bei Rotglut ist die Schmelze noch ganz dehnbar und plastisch, zwei Stücke verbinden sich völlig miteinander, man kann dünne Fäden ziehen usw. Also ist eine zweite Temperatur für die gewöhnliche Verarbeitung einzuhalten. Auch die Verarbeitung erfordert ihre nicht unbedeutende Zeit.

Gar zu lange dürfen aber die hohen Temperaturen nicht währen, weil gutes, fertig gebildetes Glas seine Durchsichtigkeit verliert, wenn es zu lange hohen Temperaturen ausgesetzt bleibt; es wird zum Teil kristallinisch und bildet eine Masse, die unter dem Namen »Réaumurs Porzellan« bekannt ist, es »entglast«.

Diese Art der Entglasung ist im wesentlichen eine Kristallisation. Wenn übermäßig lange oder hoch erhitzt wird, gruppieren sich in der Flüssigkeit die Moleküle zu — wahrscheinlich verschiedenartigen — Kristallgruppen. Das Ganze wird undurchsichtig und ändert seine Eigenschaften. Man sieht also, daß Kristallbildung, so schätzenswert sie in anderem Zusammenhange ist, hier einen Fehler bedeutet.

Endlich, d. h. nach richtigem Schmelzen und Läutern folgt die Formgebung und dann eine planmäßige Abkühlung. Dazu werden die geformten Gegenstände zunächst in einen auf 300° erwärmten Raum gebracht. Diese dritte Temperatur ist diejenige des »Kühlraums«. Wenn dies nicht geschieht, wird das Glas spröde.

Das Verhalten spröder Stoffe wurde schon bei dem Eisen als ein ungünstiges bezeichnet. Sie leisten unter Umständen starken Widerstand, aber wenn sie nachgeben, entstehen lauter kleine Stücke. Das läßt sich beim Glase zeigen, und zwar an Glaskörpern, welche mit der Temperatur von 700—800° in Wasser gefallen, also plötzlich abgekühlt sind. Man kann sie, obwohl eine feine Spitze daran entstanden ist, hart auf den Tisch werfen. Diese Spitze ist auch nicht leicht abzubrechen. Aber wenn durch Abbrechen der Zusammenhalt aufgehoben wird, so zerfällt das Ganze mit Geräusch zu losem Pulver. Sie haben eine harte Schale, aber keinen inneren Zusammenhang, weil die Schale zu groß für den Inhalt ist.

Eine ähnliche Erscheinung bieten die »Bologneser Flaschen«, die man beim Aufblasen stark in der Luft hin und her bewegt hat, so daß sie äußerlich schneller erkalteten als gewöhnlich, während die innere Partie davon unberührt blieb. Auch sie kann man ohne Schaden auf den Boden werfen; aber sie zerspringen, wenn man sie im Innern ritzt, z. B. mit einem Feuerstein.

Es wird dadurch bewiesen, daß auch die unrichtige Kühlung vermieden werden muß. Denn es kommen dadurch »Fehler« zustande, die sich nicht immer sogleich zu erkennen geben. Es ist aber klar, daß jede dadurch bezeichnete Vernachlässigung ihre Folgen hat, die häufig erst spät oder zufällig zutage treten. Eine Scheibe z. B., die aus solchem Betriebe hervorgegangen ist, wird verändert, wenn einmal plötzliche Erschütterung eintritt und sie dadurch an ihrer empfindlichen Seite angegriffen wird. Sie bekommt dann feine Haarrisse, und wenn die Ungleichheit im Innern groß ist, zerfällt sie vollständig.

Es handelt sich also bei der Glasfabrikation nicht bloß um Herstellung einer hohen Temperatur, sondern um Herstellung verschiedener Temperaturen und um Einhaltung dieser Temperaturen während beliebig langer Zeit. Dazu reicht das Mittel, welches beim Phosphor

benutzt wurde, der elektrische Ofen, nicht aus. Man kommt auf das schon bei dem Eisenhochofen und bei der Stahlbereitung nach Siemens angedeutete Verfahren der Gasheizung zurück. Diese hat bei der Glasfabrikation eine besondere Ausbildung erfahren, weil man mit langer Dauer zu rechnen hat. Schmelzen und Läutern dauert viele Stunden, Abkühlen bei 300° sogar tagelang. Dabei ist nun auch kontinuierliche Arbeit eingeführt, d. h. es sind einzelne Abteilungen des Glasofens

dauernd auf etwa	1200°
andere auf etwa	700—800°
wieder andere zum Kühlen auf etwa .	300°

zu erhalten.

In Anbetracht dieser Verhältnisse ist bei der Glasbereitung nichts wichtiger als Temperatur und Einrichtung von Schmelz- und Kühlöfen.

Die Ofeneinrichtungen bleiben ferner von hervorragender Bedeutung auf dem ganzen Gebiete der Silikate. Daher sind hier die Grundsätze, nach welchen man eine rationelle Feuerung anlegt und durch Verbrennung von Kohlen oder Koks hohe Temperaturen erzeugt, zu erläutern.

Wenn Kohlen auf einem Roste brennen, so beobachtet man zweierlei:

1. Glühen fester Körper,
2. Brennen von Gasen und Dämpfen.

Der feste Körper, welcher glüht, ist immer Kohlenstoff; die Gase und Dämpfe sind hauptsächlich Kohlenstoffverbindungen, aber verschieden, wie gleich näher zu erörtern ist.

Beide Vorgänge geben Wärme; im ganzen verläuft aber die Verbrennung zu unregelmäßig, als daß man beide Vorgänge vollständig ausnutzen könnte. Man muß sich wesentlich an den einen oder an den anderen halten.

Rückt man den zu heizenden Gegenstand recht nahe an den glühenden Kohlenstoff — was zunächst das richtige zu sein scheint —, so gehen viel Gase an diesem zu heizenden Gegenstand vorbei, ohne richtig zur Wirkung zu kommen. Daraus erklären sich besondere Vorkommnisse, z. B. Kohlenoxydvergiftungen. Sie sind die Folge mangelhaft eingerichteter oder schlecht geleiteter Feuerungen. Unverbranntes Kohlenoxyd tritt in den Raum und übt seine schädliche Wirkung, statt zu verbrennen und Wärme zu erzeugen.

Ferner brennen diese Gase häufig an einer ganz anderen Stelle, wenn dort Luft zutritt und die Entzündungstemperatur gegeben ist. Man sieht die Flamme noch über den Ofen, wie bei dem Eisenhoch-

ofen hervorgehoben wurde, und dies hat dazu geführt, die sogenannten Gichtgase oben zu sammeln und unten wieder zuzuführen.

Das Gewöhnliche ist — abgesehen von diesen besonderen Fällen —, daß die Gase von einer Feuerung in einen langen Kanal treten, welcher sie zum Schornstein führt. Sie werden dabei vollständig abgekühlt und entzünden sich nicht mehr, wenn sie an die Luft treten.

Man weiß aber schon lange, daß sie brennen können, und daß sie viel Wärme zu liefern imstande sind. In Zahlen ausgedrückt hat man folgendes:

1 kg Steinkohlen liefert durchschnittlich 8000 Kalorien. Die Untersuchung unverbrannter Gase, die von mangelhaften Feuerungen zum Schornstein abziehen, hat ergeben, daß mit diesen viel Heizkraft verloren geht, daß oft 1 kg solcher Gase noch 5600 Kalorien liefert, wenn man es richtig benutzt.

Versucht man nun das Umgekehrte, d. h. trifft man die Einrichtung, daß die Verbrennungswärme der entstehenden Gase und Dämpfe vollständig ausgenutzt wird, so muß man auf die strahlende Wärme des auf dem Roste glühenden Kohlenstoffs verzichten, indem man den Gasen Raum gibt. Dazu konnte man sich viel schwerer entschließen, weil der Verlust von Wärme jedem klar ist. Man weiß aber nun, daß dieser Verlust ein verhältnismäßig geringer ist. Diese Erkenntnis hat die sogenannte Gasfeuerung zu allgemeiner Aufnahme gebracht.

Unter Gasfeuerung, wie sie in großen technischen Betrieben mit bestem Erfolge angewendet wird, versteht man also nicht die Benutzung fertigen, gereinigten Leuchtgases, sondern eine besondere Art der Heizung, bei welcher auf die strahlende Wärme des glühenden Kohlenstoffes verzichtet wird, während man die Verbrennungswärme der Gase vollständig ausnutzt, ja sogar die Temperatur der Verbrennung in gleich anzugebender Weise bedeutend steigert.

Diese Gasfeuerung kann mit jedem Brennmaterial betrieben werden: mit Holz, Braunkohlen, Steinkohlen und Koks. Sie erfordert gemauerte Schächte, in denen das Brennmaterial so verbrannt wird, daß alle entstehenden Gase gesammelt und benutzt werden.

Nach der Art des Brennstoffes sind aber diese entstehenden und zur Heizung dienenden Gase verschieden. Am einfachsten liegen die Verhältnisse, wenn man Koks verbrennt; denn diese bestehen nur aus Kohlenstoff und etwas Asche. Es entsteht daher nur ein einziges brennbares Gas: Kohlenoxyd.

Man wird nun zunächst einwenden, daß die Verbrennung darüber hinwegführen könnte, so daß gleich Kohlensäure entsteht. In der Tat ist das nicht der Fall, wenn die Kohlensäure in einer Koksfeuerung

immer wieder mit glühendem Kohlenstoff in Berührung kommt. Dann hat man den für die Gasfeuerung sehr wesentlichen Vorgang:

$$\underset{\text{Kohlensäure}}{CO_2} + \underset{\text{Kohlenstoff}}{C} = \underset{\text{Kohlenoxyd (brennbares Gas).}}{2\,CO}$$

Wenn dies also — durch die gleich näher anzugebende Einrichtung — bewirkt wird, so entsteht Kohlenoxyd in zweierlei Weise: erstens durch unvollständige Verbrennung und zweitens durch Reduktion von Kohlensäure. Etwas anders erscheint die Sache bei Benutzung von Holz, Steinkohle usw. für den gleichen Zweck. Denn diese enthalten Wasserstoff und Sauerstoff neben Kohlenstoff. Man erhält also nicht nur Kohlenoxyd als brennbares Gas, sondern daneben Methan oder andere Kohlenwasserstoffe, auch Wasserstoff. Schließlich aber kommt man auf das Kohlenoxyd als auf das Wesentliche bei dieser Feuerung zurück. Alles übrige erweist sich als unbedeutend.

Sobald man nun dazu übergeht, die beiden Vorgänge, die man in einem gewöhnlichen Ofen beobachtet, von einander zu trennen, wird die ganze Feuerung etwas anders, sowohl äußerlich, als auch dem Wesen nach.

Äußerlich hat die Gasfeuerung, d. h. die Benutzung der auf einem gewöhnlichen Herde durch Erglühen von Steinkohle usw. entwickelten brennbaren Gase den Vorzug, daß man den zu erhitzenden Gegenstand nicht über dem Herde anzubringen braucht, sondern die brennbaren Gase beliebig dahin leiten kann, wo man sie nötig hat. Damit verbindet sich, daß man den Gasstrom reguliert, also daß man den Heizeffekt stark oder schwach machen kann, je nachdem man viel oder wenig Gas verbrennt.

Dem Wesen nach stellt sich die Sache erst recht verändert dar. Man verzichtet auf die strahlende Wärme der auf gewöhnlichem Herde glühenden Steinkohle und muß deshalb suchen, den Hauptbrennwert in die Gase zu verlegen.

Dies geschieht zunächst dadurch, daß man möglichst viel Kohlenoxyd macht, überhaupt möglichst viel brennbare Gase und Dämpfe. Man leitet also erstens nur soviel Luft zu, als zur Unterhaltung des Glühens von Kohlenstoff erforderlich ist, und sorgt durch Lagerung der Kohlen dafür, daß alle Kohlensäure wieder mit glühendem Kohlenstoff in Berührung kommt, also reduziert wird; zweitens nimmt man die Mitwirkung des Wassers zu Hilfe und erhält durch glühenden Kohlenstoff Wasserstoff und Kohlenoxyd:

$$\underset{\text{Kohlenstoff}}{C} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} = \underset{\text{Wasserstoff}}{2H} + \underset{\text{Kohlenoxyd}}{CO}$$

Dabei oxydiert sich ein Teil des Kohlenstoffes auf Kosten des Sauerstoffs des Wassers, was den Vorzug hat, daß die Gase nicht übermäßig durch den Stickstoff der Luft verdünnt werden.

Dieser Vorgang findet zwar bald sein Ende, weil viel Wasser die Verbrennung unterbricht, er ist aber unter allen Umständen mitzunehmen, weil Kohlenoxyd nur regelmäßig fortbrennt, wenn es feucht ist. Dies erklärt den allgemeinen, auf den ersten Blick widersinnigen Gebrauch, die zu verbrennenden Kohlen naß zu machen.

Also ist das erste die zweckmäßige Herstellung von regelmäßig brennenden Gasen. Dazu dienen die »Generatoren oder Gaserzeuger«, d. h. schachtförmige Brennräume, die eine regelmäßige Zuführung des Brennstoffs und ebenso regelmäßige Ableitung sämtlicher Gase gestatten.

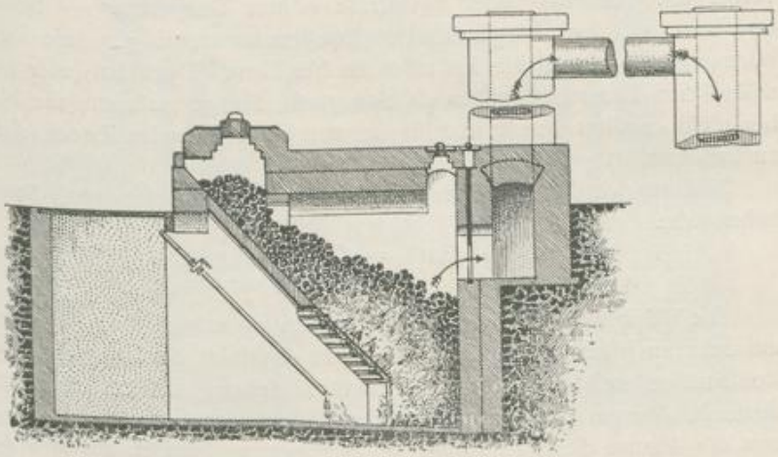

Fig. 80. Gaserzeugungsofen.

Sie sind im einfachsten Falle mit Klappen versehen, durch welche die Kohlen eingeschüttet werden. Sie haben auch wohl deutlich erkennbare Zuführung von Wasser (vgl. Figur 80).

Sonst aber führt man die Kohlen durch eine Schneckenvorrichtung in den besser abgeschlossenen Brennschacht und macht sie feucht, so daß immer Wasser in dem geringen, erforderlichen Maße zutritt. An Stelle der Kohlen treten häufig Koks.

Wenn nun die Generatorgase an einer ganz anderen Stelle entzündet und benutzt werden, so ist aus dieser veränderten Form der Feuerung klar zu ersehen, was von der Gesamtwärme, über die man verfügen kann, unbenutzt bleibt; es ist, wie schon oben gesagt, die strahlende Wärme des im Generator glühenden Kohlenstoffs.

Auf den ersten Blick erscheint dieser Betrieb als ein verschwenderischer. Er ist es in Wirklichkeit nicht, weil etwas Wesentliches hinzukommt, nämlich daß man die Heizkraft von Gasen bedeutend steigern kann, und zwar durch Mittel, die bei jedem Ofenbetriebe zur Verfügung stehen. Darin liegt das zweite Neue, und dies ergibt sich aus folgender Betrachtung. Wenn man das vom Generator kommende Gas durch einen langen Kanal leitet, so daß es kalt wird, und dann entzündet, so ist die Temperatur, welche bei der Verbrennung entsteht, lange nicht so hoch, als wenn man dasselbe Gas vorher auf 1000° erhitzt und dann verbrennt.

Die Verbrennungstemperatur wird aber noch größer, wenn man nicht allein das Gas, sondern auch die zum Verbrennen nötige Luft vorher auf 1000° — oder irgendeine höhere Temperatur — bringt und nun mit dem vorgewärmten Gase zusammenbringt. Jede Vorwärmung ist so gut wie kostenlos zu bewirken. Denn bei jeder gewöhnlichen Feuerung geht noch eine große Menge verloren, die bisher nicht erwähnt wurde und für den nun hervortretenden Zweck leicht zu benutzen ist.

Nehmen wir den einfachsten Fall: es verbrenne Kohlenoxyd. Dann haben wir:

$$\underset{\text{Kohlenoxyd}}{CO} + \text{Luft} = \underset{\text{Kohlensäure}}{CO_2} + \underset{\text{Stickstoff.}}{N_2}$$

Die Wärme, welche durch die Verbrennung entsteht, wird insofern nur sehr unvollständig ausgenutzt, als die Produkte der Verbrennung, Kohlensäure und Stickstoff, nicht kalt abziehen, sondern eine bedeutende Menge von Wärme entführen. Bei der Gasfeuerung wird nun die Wärme dieser Produkte der Verbrennung benutzt, um sowohl Luft als Generatorgas vorzuwärmen. Darin liegt die zweite Neuerung, und dadurch wird eine viel vollkommenere Ausnutzung der Gesamtwärme herbeigeführt, als früher in irgendeiner Weise möglich war.

Diese Vorheizung der Luft und des Generatorgases bewirkt man leicht in den »Regeneratoren« oder »Wärmespeichern«. Darunter versteht man große, zum Teil mit Backsteinen ausgesetzte Räume, welche durch die Hitze der Verbrennungsgase auf hohe Temperatur gebracht werden. Durch die Wärmespeicher läßt man sowohl das Generatorgas als auch die Luft durchgehen, bevor sie zusammentreten. Sie entzünden sich dann sofort, natürlich mit hoher Temperatur.

Die Anwendung dieser Grundsätze auf den vorliegenden Fall, d. h. auf das Schmelzen des Glassatzes, ergibt folgendes:

Generatorgas wird verbrannt und dient zum Schmelzen von Glassatz bei 1200°. Dann zieht nachher von dem Glasofen ein

Strom von Kohlensäure und Stickstoff ab, der beinahe 1200° hat, und der die Wärmespeicher auf eine Temperatur von über 1000° bringt.

Läßt man nun Generatorgas und Luft durch die Wärmespeicher gehen, bevor sie zusammentreten, so werden sie derartig vorgewärmt, daß man nachher sofort wieder die Höhe von 1200° erzielt und halten kann, da ja das Ganze regulierbar ist.

Natürlich werden die Wärmespeicher dadurch abgekühlt; man muß also wieder Kohlensäure und Stickstoff, die heißen Verbrennungsprodukte, zutreten lassen und immer wechseln. Deshalb hat man zwei

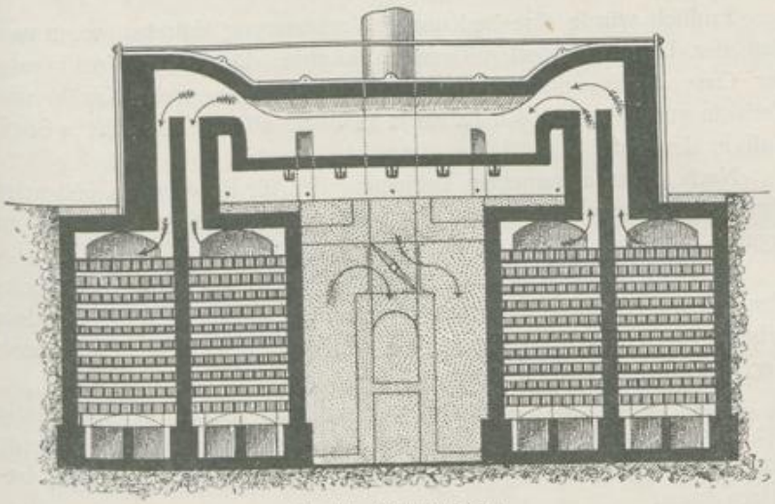

Fig. 81. Regenerativofen.

Systeme nebeneinander und Wechselklappen, durch welche den Gasen und der Luft die Wege angewiesen werden.

Auf der vorstehenden Zeichnung sieht man rechts und links unten je zwei Wärmespeicher. Rechts oben treten die vorgeheizten Gase und vorgeheizte Luft in den Schmelzraum, links oben ziehen Kohlensäure und Stickstoff ab. In der Mitte unten ist die Wechselklappe.

Im ganzen ergibt sich aus der vorstehenden Betrachtung, daß die Verschwendung beim Betriebe von Feuerungen an anderer Stelle liegt, als es anfangs schien.

Große Verschwendung von Wärme findet statt, wenn man die Gase, die von einer Feuerung abziehen, mit der ganzen Menge von Wärme, die sie enthalten, ins Freie treten läßt. Denn man kann diese

Wärme benutzen, um die Gase, die man erst verbrennen will, vorzuheizen; dann erzielt man bedeutende und regelmäßige Effekte.

Tut man dies, so ist auf die strahlende Wärme des Kohlenstoffs ohne Bedenken zu verzichten, wie es bei der Gasfeuerung geschieht. Deshalb ist diese Feuerung allen Betrieben angepaßt und viel im Gebrauch bei großen Betrieben.

Natürlich kann die Einrichtung auch in vielen Fällen so getroffen werden, daß die Heizgase unmittelbar von dem Schacht in die Feuerung treten. Dann braucht man diese nicht wieder anzuwärmen, sondern nur die Luft ist vorzuwärmen und mit den heißen Gasen zusammenzubringen.

Endlich würde eine bedeutende Verbesserung eintreten, wenn man statt der Luft Sauerstoff verwenden könnte. Denn die Verdünnung der Gase durch Stickstoff bedingt große Räume, weite Kanäle und Verluste von Wärme. Wir haben ja $^2/_3$ Stickstoff im Gase und $^4/_5$ Stickstoff in der Luft.

Nach dieser allgemeinen Darlegung der für Feuerungen geltenden Grundsätze bleibt folgendes über den gegenwärtigen Zustand zu sagen.

Im Betriebe der Glasfabriken gibt es noch, wie früher, Schmelzöfen mit gewöhnlicher Feuerung für kleinere, kunstvolle und besondere Arbeit. Für den großen allgemeinen Betrieb aber dient die Gasfeuerung hier wie auf anderen Gebieten.

Dabei hängen die Temperaturen, die man erzielt, in erster Linie von der Zusammensetzung der Gase ab, um so mehr, als man für diese Feuerung alle Arten von Brennstoffen, auch geringwertige, benutzen kann.

Die Hauptbestandteile sind Kohlenoxyd und Stickstoff der Luft. Daneben ist einerseits Wasserstoff, andererseits Kohlensäure gewöhnlich; zuweilen findet man Kohlenwasserstoffe und bei fehlerhaftem Gange der Arbeit Sauerstoff (aus der Luft). Z. B. hat man im Generatorgase aus Koks bei richtigem Gange:

Kohlenoxyd . .	33,5 %
Stickstoff . . .	64,2 %
Wasserstoff . . .	1,5 %
Kohlensäure . .	0,8 %

Ein solches Gas entwickelt pro Gewichtseinheit 758 Kalorien, während reines Kohlenoxyd bei Verbrennung zu Kohlensäure 2440 Kalorien liefert. Es ist eben stark verdünntes Kohlenoxyd.

Die Steigerung des Effekts durch die Vorwärmung des Generatorgases ist also wesentlich.

Die Gasanalyse hat in diesem Zusammenhange allgemeinere Bedeutung erlangt und deshalb eine besondere Form angenommen. Man stellt immer fest, wieviel Kohlenoxyd und Kohlensäure vorhanden ist, sowie ob Sauerstoff fehlerhaften Gang anzeigt. Dies ist in einfacher Weise möglich mit dem Orsatschen Apparat[1]), welcher hat:

A. ein graduiertes Sammelrohr, in welchem ein bestimmtes Volumen der Gase durch Ansaugen aufgenommen wird, nachdem man die Luft verdrängt hat; ferner sind drei Absorptionsröhren für Kohlenoxyd, Kohlensäure und Sauerstoff angebracht, und zwar geschieht dies durch Zutretenlassen des Gases, bis keine Verminderung mehr stattfindet durch

B. 1. Kupferoxydulammoniak. Dabei hat man Kupferdraht in den feinen Absorptionsröhren, um die Lösung gesättigt zu halten, und bindet Kohlenoxyd;
2. Kalilauge: sie bindet Kohlensäure;
3. alkalische Lösung von Pyrogallussäure: sie bindet Sauerstoff.

Nachdem die drei wesentlichen Bestandteile völlig absorbiert sind, bleibt hauptsächlich Stickstoff übrig. Dieser kann nun weiter untersucht werden, und davon hängt es ab, ob Gasanalysen in sonst üblicher Art angeschlossen werden.

Hierbei ist indessen zu bemerken, daß die Kohlenwasserstoffe in diesem Zusammenhange wenig Wert haben, weil sie leicht zersetzt werden, und daß auch der Wasserstoff nur untergeordnete Bedeutung hat. Das Wesentliche der Generatorgase bleibt das Kohlenoxyd.

Die hierdurch kurz bezeichnete Art der Untersuchung findet auch sonst auf Fabrikgase ihre Anwendung. Z. B. stellt man im Schwefelsäurebetriebe fest, wieviel Sauerstoff in den aus der Kammer tretenden Gasen vorhanden ist, und regelt danach den Zutritt der Luft. Wenn nur ein einziges Gas zu untersuchen ist, dient die auf gleichem Prinzip beruhende Bürette von Bunte.

Gase dieser Art, die zu einem Dritteil aus Kohlenoxyd bestehen, kann man nicht ohne Gefahr in die Wohnungen einleiten und dem allgemeinen Verkehr übergeben. Dazu sind sie zu giftig. Aber im Fabrikbetriebe, wo sie nur einen bestimmten Weg zu gehen haben und einem bestimmten Zweck dienen, haben sie große Bedeutung.

Es bleibt also gewöhnliches, im Hausgebrauche befindliches Leuchtgas und Generatorgas zu unterscheiden. Im ganzen gibt es verschiedene, für Leucht- und Heizzwecke dienende Gase. Leuchtgas aus

[1]) Vgl. Post, Technische Analyse, S. 245.

Steinkohlen, Generatorgas, Fettgas für Beleuchtung, Acetylen, Wassergas für Heizung, karburierte Gase für Beleuchtung usw.

Nach diesen theoretischen Betrachtungen stellt sich die Praxis der Glasfabrikation wie folgt dar.

Bei kleinerem Betriebe findet man als Schmelzgefäße sogenannte »Häfen« oder »Wannen«, und zwar noch häufig in Öfen mit direkter Feuerung, einfachem Luftzutritt, Aschenfall usw. Bei Holzfeuerung können die Schmelzgefäße offen sein; bei Steinkohlenfeuerung entsteht aber so viel Ruß, daß man die schmelzende Masse in der langen Zeit,

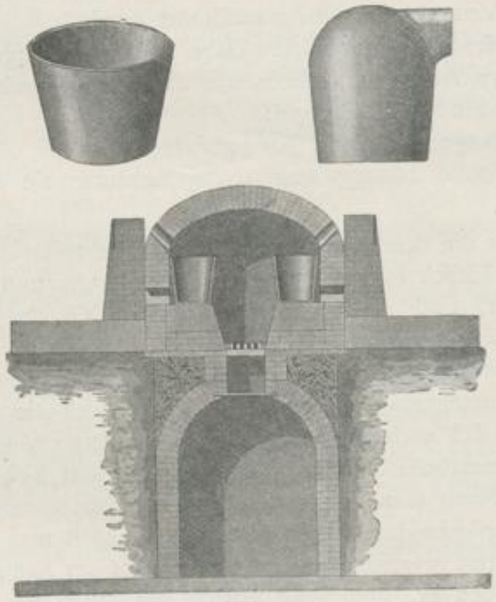

Fig. 82. Glasofen mit Häfen.

die erforderlich ist, dagegen schützen muß. Dann also finden die sogenannten »Haubenhäfen« Anwendung.

Auf der Zeichnung sieht man offene und Haubenhäfen, ihre Stellung im Ofen und die Arbeitsöffnungen, welche darauf hinführen (vgl. Figur 82).

Außerdem gibt es Häfen mit Scheidewand, die nicht bis auf den Boden geht.

Diese bringen die einfachste Form des Hilfsmittels zur Ausscheidung der Glasgallen zur Anschauung. Die schmelzende Masse muß von einer Abteilung zur anderen fließen. Dabei bleiben die schwereren,

nicht in die Schmelze übergegangenen Nebenstoffe zurück. Auch gehen die Gase unten schwerer durch.

Immer muß man erstens die Temperatur von 1200° hervorbringen und »halten«, zweitens die Temperatur »ablassen« bis auf 800°, um weiterarbeiten zu können; es ist also beständiger Wechsel nötig.

Alles dies geschieht besser in einem mit Gasfeuerung betriebenen Ofen, welcher in verschiedene Abteilungen zerfällt, und durch welchen die Glasmasse wandert. Diese Abteilungen sind den verschiedenen Vorgängen angepaßt und werden immer auf den dafür geeigneten Temperaturen erhalten.

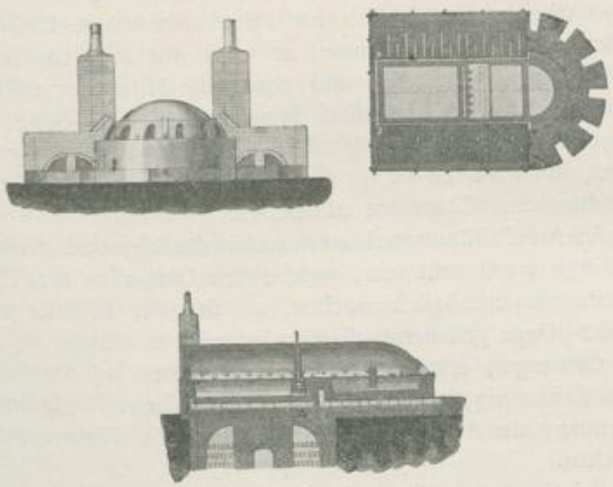

Fig. 83. Wannenofen für Glas.

Man hat nebeneinander in der Durchschnittszeichnung rechts oben:

A. Schmelzraum } mit 1200° links,
B. Läuterungsraum }
C. Arbeitsraum mit 800° rechts,

alle drei so bemessen, daß die Masse nicht zu lange darin verbleiben muß.

Der Schmelzraum, in welchen die Rohstoffe eingetragen werden, bleibt fortwährend auf der Temperatur von etwa 1200°, weil durch Schlitze des Mauerwerks von der einen Seite Generatorgase, von der anderen Seite Luft, beide stark vorgeheizt, zutreten und über dem wannenförmigen Raum den Verbrennungsvorgang unterhalten (vgl. Figur 83).

Dasselbe findet über dem Läuterungsraum statt, und unter beiden Räumen liegen die zum Vorheizen von Gas und Luft erforderlichen Wärmespeicher (untere Zeichnung). Zwischen Schmelzraum und Läuterungsraum ist eine niedrige Scheidewand, welche die Hauptmenge der Glasgallen zurückhält. Die schon ziemlich klare Masse fließt dann über eine Brücke und gibt dort auch die Hauptmenge der eingeschlossenen Gase ab.

In dieser Einrichtung und darin, daß man die Masse fließen läßt — aus einer Abteilung in die andere —, liegt das dem Betriebe angepaßte Hilfsmittel für die Trennung. Denn es handelt sich auch hierbei darum, zu trennen: feste Massen, sogenannte Gallen, flüssige Masse, Glas, und Gase, Stickstoff der Luft, Schwefeldioxyd usw.

Der »Arbeitsraum« endlich hat keine unmittelbare Heizung wie die beiden erstgenannten Räume; er wird nur mittelbar durch die strahlende Hitze der ersteren und durch die Hitze der zufließenden Glasmasse auf der erforderlichen Temperatur von 7—800° erhalten. Er hat eine größere Zahl geräumiger, über der Wanne angebrachter Öffnungen, durch welche die vor den Ofen hintretenden Arbeiter brauchbare, geschmolzene Glasmasse entnehmen.

Vor den Arbeitsöffnungen können auch in der Schmelze schwimmende Schamottringe angebracht sein, welche den Glasgallen den Zutritt zu der Arbeitsstelle unmöglich machen, so daß der Arbeiter aus dem Inneren der Ringe geläutertes Glas zu entnehmen vermag.

Die Öffnungen erkennt man am deutlichsten auf der links oben stehenden Zeichnung, während die beiden anderen Zeichnungen den Zusammenhang der Abteilungen des Ofens und die Wärmespeicher veranschaulichen.

Die bei Rotglut stattfindende Verarbeitung führt dann zu Hohlglas durch Blasen und entsprechende Hilfsmittel. Die so verarbeiteten Glasarten sind hauptsächlich Kaliglas und Flaschenglas, d. h. durch Eisen usw. gefärbtes Glas.

Zur Formgebung dienen einfache, aber wichtige Instrumente: erstens die »Pfeife« oder das Blasrohr, eine 1,5—1,8 m lange Röhre aus Schmiedeeisen, mit glattem, im Munde leicht zu drehenden Mundstück und kleinem Wulst am Ende, wo das Gas anhaften soll. Über diese Röhre kann ein hölzerner Griff geschoben werden, wenn sie warm wird.

Außerdem hat man Scheren, Hefteisen, Formen und sogenannte Marbel, auch Motzen genannt, d. h. Stücke Holz oder Metall mit runden Vertiefungen, in denen man die an der Pfeife befindliche Glasmasse abrunden kann, wenn die Marbel feucht sind.

Die Hauptsache bei dieser Arbeit ist, daß man die richtige Menge

an die Pfeife bringt. Ferner ergeben sich bei größeren Objekten gewisse Abschnitte.

Die einfachen Formen, welche von jeher im Gebrauch sind, namentlich für eckige Gegenstände, haben allmählich solche Verbesserungen erfahren, daß sie für Flaschen — auch für starke, sogenannte Champagnerflaschen — völlig ausreichen. Sie sind aus Gußeisen hergestellt, und zwar so, daß man sie leicht auf- und zuklappen kann.

Der Arbeiter bläst also die Flaschenform ungefähr, indem er beim Aufblasen etwas schwenkt und im angefeuchteten Marbel dreht. Dann geht er an die halb aufgeklappte Form, führt das Arbeitsstück hinein, klappt die Form, die am Boden steht, mit dem Fuß zu und erzielt so die Formung der Flasche. Dazu gehört auch schon die übliche Erhebung im Boden der Flasche sowie etwa aufzupressende Schrift, welche in der Form vertieft angebracht ist.

Ebenso reichen die Formen als Hilfsmittel für Gläser und andere Gegenstände einfacher Art aus.

Flaschen, die dem gewöhnlichen Gebrauch dienen, sind in solcher Zahl erforderlich, daß die Mundbläserei mit der Pfeife nicht genügt. Die Hütten der Aktien-Gesellschaft vorm. Fr. Siemens stellen jährlich 65 000 000 Flaschen her. Obwohl dabei Hunderte von Glasbläsern beschäftigt sind, kann diesen doch nur ein Teil der Arbeit zugemutet werden. Sie blasen die aufgenommene Glasmasse nur eben auf. Das weitere Aufblasen des so entstandenen »Külbchens« wird durch Preßluft besorgt, nachdem man die Pfeifen vertikal in die dazu hergerichteten Ständer eingehängt hat.

Bei weniger einfachen Formen ergibt sich aber bald die Notwendigkeit, mit dem Arbeitsstück, an welchem nacheinander mehreres anzubringen ist, an die heiße Arbeitsöffnung des Ofens zurückzugehen und es von neuem weich zu machen. Neben der Maschinenbläserei ist also die Mundbläserei in Verbindung mit der Geschicklichkeit des einzelnen nicht zu entbehren.

Im allgemeinen ergibt sich keine besondere Schwierigkeit, solange die zu verarbeitende Masse klein ist. Wenige Beispiele genügen, um die Wirkung der Hilfsmittel, welche dabei in Betracht kommen, klarzumachen.

Glasröhren entstehen aus der zunächst als Hohlkugel aufgeblasenen Masse. Der Glasbläser hält diese Hohlkugel an seinem Blasrohr, während sein Hilfsarbeiter ein Eisen an der anderen Seite anheftet und zieht, indem er sich regelmäßig, aber doch schnell entfernt. Bei stärkeren Röhren muß der Bläser dabei weiterblasen; auch muß während

des Ziehens gedreht werden. Abgeplattete Formen werden erhalten, wenn man nach dem Aufblasen die Luft anzieht, solange das Glas noch weich ist. So entstehen Uhrgläser jeder Größe, nicht nur für Taschenuhren, sondern auch großer Dimension, für Hausuhren.

Kelchartige Erweiterungen sind zustande zu bringen, indem man erweichte Röhren mit feuchten Holzstäben an einer Seite erweitert. Dies ist ein wichtiges Mittel. Nachher wird ein Fuß angesetzt, um ein Kelchglas entstehen zu lassen usw.

Die Glasbläserei benutzt also, wie man sieht gewisse, nicht unwesentliche Hilfsmittel. Eigentliche Schwierigkeiten treten bei dieser Art der Arbeit erst ein, wenn es sich um Formung größerer Massen handelt. Schon bei der Herstellung von Fensterscheiben gewöhnlicher Art ist es nötig, viele Arbeiten nacheinander vorzunehmen und zu diesem Zwecke wiederholt mit den an der Pfeife haftenden Glasmassen an den Ofen zu gehen, um diese Massen, die halbfertig sind, wieder zu erweichen und weiter zu verarbeiten.

Man muß also nach einem festen Plane vorgehen, wie es z. B. geschieht bei der Herstellung des sogenannten Walzenglases.

Zunächst muß man bei solcher Arbeit eine größere Menge Glasmasse an die Pfeife bringen, mehr, als die nachher in der fertigen Scheibe verbleibende ist; denn es gibt Abfall. Eine Masse von 2 kg ist kaum genügend; man kann bis zu 7 kg an der Pfeife aufnehmen, aber das gelingt natürlich nicht mit einem Male.

Wiederholt wird mit der Pfeife in die Arbeitsöffnung hineingefahren und immer wieder etwas geblasen, damit sich die Öffnung nicht verstopft, ferner auf dem Marbel abgerundet. Auch muß das Ganze weich bleiben, und man darf keine Luftblasen zwischen die nacheinander aufgenommenen Massen bringen.

Die ganze Masse bringt man durch Aufblasen, Wiederanheizen und weiteres Blasen unter Drehen in die Form eines hohlen Sphäroids.

Das einfache Mittel, dessen man sich bedient, um von der durch Aufblasen der Glasmasse zunächst entstehenden Kugelform zu der Form eines Sphäroïds und einer Walze zu kommen, ist Schwenken der Masse, während sie weich ist, und während geblasen wird. Es muß aber, da man ein großes Arbeitsstück an der Pfeife hat, der nötige Raum vorhanden sein.

Der Arbeiter steht also auf einer Brücke und schwenkt kräftig in die Tiefe neben ihm sowie nach oben. Dieses Mittel führt, wenn es richtig angewendet wird, zur Bildung von ovalem Sphäroid und einer Walze.

Natürlich muß man aber wiederholt an die heiße Arbeitsöffnung des Ofens gehen, um die Masse weich zu erhalten. Die richtig ge-

formte, hohle Walze wird dann nur an einer kleinen Stelle wieder erweicht und rasch aufgeblasen. Nun kann man die aufgeblasene Seite vorsichtig vor der heißen Arbeitsöffnung erweichen und allmählich durch Aufbiegen in Zylinderform bringen, oder man sprengt diese Seite so weit ab, daß man ein Stück von gleichmäßiger Walzenform zurückbehält.

Jedenfalls hat das Absprengen an der Seite, die im Glase dick und ungleich ist, zu erfolgen, und zwar geschieht dies in besonderer Weise. Man legt die Walze in einen Ring aus Eisendraht, welcher rotglühend gemacht ist, so daß das Glas nur an der abzusprengenden Stelle sehr heiß wird. Dann wird schnell Wasser, und zwar tropfenweise, auf diese Stellen gebracht und dadurch abgesprengt.

In ähnlicher Weise wird durch Aufsprengen der Zylinder »geöffnet« und muß dann gestreckt werden.

Dies geschieht in einem »Streckofen«, der auf die zum Erweichen nötige Temperatur gebracht ist und ebene große Steinplatten enthält, auf welche man Gips oder dergleichen streut, um das Anhaften zu verhindern, und die Glaswalzen legt. Jede derselben ist dann in dem Grade, wie sie erweicht, in die Form einer möglichst ebenen Platte überzuführen. Dabei kommt wieder das bei der Kelchform schon erwähnte Hilfsmittel, die feuchten Holzstäbe, in Anwendung. Trockene Stäbe würden ankohlen oder ankleben. Viel Wasser würde sprengen, aber feuchtes Holz ist anwendbar.

Man kann sich also die Zeit nehmen, ruhig mit dem sogenannten Plättholz auseinanderzubiegen und glatt zu machen. Die so hergestellten Scheiben kommen dann in einen besonderen Kühlofen, wo sie ganz langsam erkalten.

Auf diese Weise gelangt man zu den Scheiben, welche dem gewöhnlichen Hausbedarf genügen. Man kann bis zu 1,5 m lange und 1 m breite Platten ohne Schwierigkeit gewinnen, so daß noch ganz ansehnliche Scheiben zu den geblasenen gehören.

Ob dies der Fall ist, läßt sich leicht erkennen. Geblasene Scheiben lassen die Linien eines dahinterliegenden Gegenstandes nicht unverändert. Denn es hängt mit dem Verfahren der Darstellung zusammen, daß diese Scheiben nicht überall gleich dick sind, und daß sie keine ganz planparallele Flächen haben.

Namentlich der letztere Umstand bewirkt, daß die Linien eines hinter der Scheibe liegenden Gebäudes nicht ganz richtig erscheinen, sondern etwas verzogen sind.

Diese mit dem Blasen und dem Plätten, also mit der ganzen Art der Arbeit zusammenhängenden Mängel sind zwar in manchen Fällen

ohne Bedeutung, aber durchaus nicht immer. Dazu kommt, daß man schwer über die angegebenen Größenverhältnisse hinausgehen kann.

Die Schwierigkeit, weiterzugehen, liegt nicht sowohl in dem Blasen, als in der wiederholten Handhabung und Wiederanheizung größerer Massen von Glas an der Pfeife oder ähnlichen Instrumenten.

Was das Blasen betrifft, so kann man, wie erwähnt, Luftdruckapparate zu Hilfe nehmen, wenn die Kraft der Lungen nicht mehr ausreicht, und die gewöhnlichen Säureballons liefern den Beweis, daß man recht große, kugelartig geformte Behälter zu blasen vermag, wenn die Regelmäßigkeit der Form nicht gerade wichtig dabei ist.

Aber die wiederholte Anheizung solcher Formen erfordert übertrieben große Arbeitsöffnungen mit starker Wärmestrahlung an den Öfen, und die Handhabung der halbweichen, wieder erstarrenden Glaskörper macht um so größere Schwierigkeiten, je größer dieselben sind. Sie ist durch Maschinen nicht zu besorgen.

Demnach sind zwei Anforderungen durch dieses Verfahren, d. h. durch Blasen, mit allen erwähnten Hilfsmitteln nicht zu erfüllen:

1. die Herstellung von Glasscheiben, welche vollkommen planparallel und überall gleich in der Stärke sind;
2. die Bewältigung von Glasmassen, welche für Platten von besonderer Größe erforderlich sind. Dies ist um so weniger durchführbar, als die Platte wegen der Haltbarkeit um so dicker sein muß, je größer sie wird.

Beide Forderungen erfüllt man durch »Gießen«. Da die Anforderung großer Scheiben mit planparallelen Flächen zuerst bei den Spiegeln auftrat, heißt das gegossene Glas vielfach »Spiegelglas«, obwohl es auch anders gebraucht wird.

Beim Gießen wird viel mehr Masse auf einmal verarbeitet als beim Blasen; z. B. 300 kg für einen Guß. Ferner gießt man diese Massen, wenn sie dünnflüssig, also viel heißer als die zum Blasen benutzten Massen sind. Demgemäß sind auch die für beide Zwecke benutzten Glassorten verschieden. Zum Blasen dient Kaliglas und naturfarbiges Flaschenglas. Das gegossene Glas dagegen ist ein leicht zu schmelzendes Natronglas. Es wird dargestellt, indem man Kalk, Kieselsäure, Natriumsulfat und Kohle zusammenschmilzt. Dabei findet der bei den Natriumverbindungen hervorgehobene große Verbrauch von Sulfat statt.

Die Produktion von Spiegelglas in Deutschland wird auf 800000 qm geschätzt. Davon kommen große Mengen zur Ausfuhr, besonders nach Amerika.

Bei dem Schmelzprozeß findet eine Reduktion des Sulfats und Entwicklung von Schwefeldioxyd statt, was bei solchen Massen etwas ausmacht:

$$\underset{\text{Kieselsäure}}{SiO_2} + \underset{\text{Natriumsulfat}}{Na_2SO_4} + \underset{\text{Kohlenstoff}}{C} = \underset{\text{kieselsaures Natron}}{SiO_3Na_2} + \underset{\text{Kohlenoxyd}}{CO} + \underset{\text{Schwefeldioxyd.}}{SO_2}$$

Dann erfolgt die Aufnahme des Calciums usw.

Die aus solchem Satz hergestellte Schmelze wird zunächst in besondere Wannen übergeschöpft, so daß man die für einen Guß passende Menge, z. B. 300 kg , abmißt. Diese Menge bedarf dann wieder einer Läuterung, weil Luftblasen hineingekommen sind.

Wenn man sich durch Proben überzeugt hat, daß die Masse den richtigen Flüssigkeitsgrad hat, wird solche Wanne mittels Krahnvorrichtung aus dem Ofen gehoben, schwebend über den Gießtisch gebracht und mit einem Male entleert.

Der Gießtisch besteht im wesentlichen aus einer großen, z. B. 4 m langen, 2,5 m breiten Platte aus Kupfer oder Bronze. Sie muß völlig eben und glatt poliert sein, dabei so stark, daß sie sich durch die Hitze nicht wirft (bei obigen Maßen 27 Tonnen). Auf der Platte liegen an den beiden langen Rändern zwei metallene Leisten, deren Dicke die Stärke der zu gießenden Glasplatte bestimmt.

Über diese Leisten geht sofort nach dem Entleeren der Wanne eine schwere Metallwalze, die das Ganze gleichmäßig auswalzt. Alle Metallteile werden natürlich stark angewärmt, ehe man die flüssige Glasmasse aufbringt, und dann auf Rollen vor den Ofen hinbewegt.

Den ganzen Apparat sieht man in der nachstehenden Figur 84.

Nachdem die Walze ihren Weg vollendet hat, biegt man mit eisernen Instrumenten die eine Kante auf, um eine Handhabe zu bekommen. Sobald dann die Platte erstarrt ist, wird sie abgehoben und in den Kühlofen geschoben, wo sie mehrere Tage bleibt. Dann erst beginnt die weitere, nicht unbedeutende Arbeit.

Fast nie gelingt der Guß ganz ohne Fehler. Dies ist mit ein Grund, weshalb man nicht Platten von jedesmaliger Gebrauchsgröße, sondern die größtmöglichen gießt, die nachher zerschnitten werden, so daß die fehlerhaften Stellen ausfallen. Die unregelmäßigen Ränder werden zunächst abgeschnitten und dann gleichmäßige Stücke hergestellt, die auf beiden Seiten zu schleifen sind.

Das gegossene Glas ist nämlich auf der Plattenseite ziemlich glatt, die von der Walze berührte Seite zeigt aber wellige Rauheit, abgesehen von besonderen Fehlern. Daher erfolgt zuerst ein »Rauhschleifen«, indem man je zwei Glastafeln mit den rauhen Seiten gegeneinander einspannt, Sand und Wasser hinzubringt und reibende, schleifende Bewegung längere Zeit unterhält.

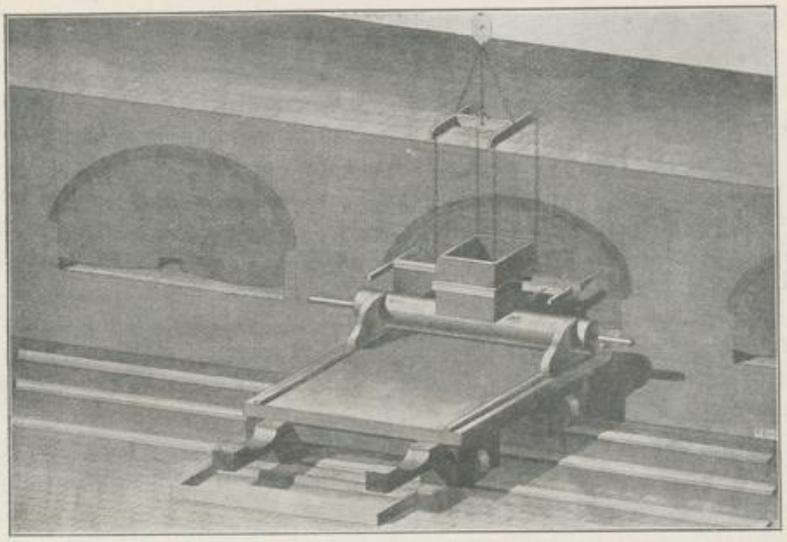

Fig. 84. Gießtisch für Glas.

Dazu dienen z. B. die sogenannten »Fliegrahmen«, ziemlich schwere, eiserne Rahmen, in welche man kleinere Platten einspannt, um dieselben auf größeren, als Unterlage eingespannten Platten in drehende und schiebende Bewegung zu setzen. Erst wenn dieser Rauhschliff so weit gegangen ist, daß keine großen Unebenheiten mehr vorhanden sind, erfolgt, ebenfalls mit Hilfe von Sand, das »Klarschleifen« und endlich das »Polieren« mit einer Einrichtung wie beim Rauhschleifen, aber unter Anwendung von harten Schleifmitteln, mit Wasser.

Namentlich dient dazu der auf der Insel Naxos im griechischen Archipelagus gefundene Schmirgel, d. i. eine Tonerde von korundartiger Härte. Derselbe ist vorher fein zu mahlen und zu schlämmen. Außerdem wird Eisenoxyd, durch Kalzinieren von Eisenvitriol erhalten, viel benutzt.

Den Schleifapparat sieht man auf Figur 85.

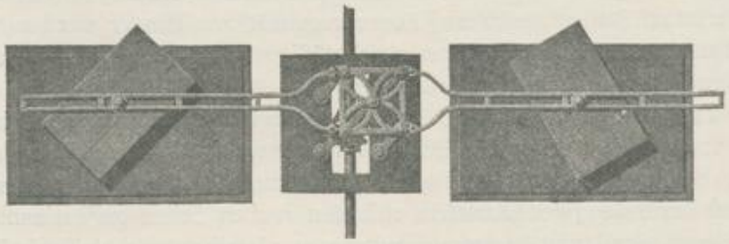

Fig. 85. Schleifapparat für Glas.

Im ganzen geht bei dieser umständlichen Zurichtung beinahe die Häfte der gegossenen Glasmasse ab, und zwar in Form unbrauchbaren Schleifpulvers. Von einem 32 kg schweren Rohglas bleiben etwa 17 kg übrig in Form eines 7 mm starken, 1 qm großen Spiegelglases.

Aus diesem Grunde behält das Blasen der Scheiben als ein weniger mit Verlust verbundenes Verfahren seine Bedeutung. Auch bei der Walzenarbeit muß man ja viel abschneiden; aber diese Abschnitte gehen als »Glasbrocken« wieder in den Ofen und bleiben brauchbar.

Der kostspieligeren Darstellung entspricht nun eine größere Gleichmäßigkeit der gegossenen und geschliffenen Scheiben. Da man zweimal geläutert hat — erst wie gewöhnlich beim Schmelzen, dann nach Überfüllen in die einzelnen Wannen —, so sind Glasgallen und Luftblasen entfernt. Da ferner die Platte aus einer viel stärkeren herausgeschliffen wurde, so ist sie mit planparallelen Flächen versehen und verzieht die Linien der Gegenstände nicht, wie die durch Blasen, Strecken und Plätten hergestellten. Dieser Umstand hat besonders für Spiegel seine Bedeutung.

»Spiegelfabrikation« ist ein viel bearbeitetes, aber nicht abgeschlossenes Kapitel. Spiegel hat es schon vor langer Zeit gegeben. Natürlich wünschten die Damen des Altertums sich zu spiegeln; die römischen Jünglinge haben sich sogar rasiert — mit sorgfältig ausgewählten und passend hergerichteten Glasscherben.

Die Spiegel des Altertums, wie sie z. B. in Pompeji gefunden wurden, sind meistens Bronzeplatten, die glatt poliert waren und immer nachpoliert werden mußten. Weiße Farbe hat man diesen Metallspiegeln durch Einlegen von Metallfolien oder von Amalgam zu geben gewußt.

So geschieht es heute noch in China und Japan. Dort ist es allgemein üblich, eine weiße Legierung (1—2 Teile Zinn und 1 Teil Quecksilber, also ein Amalgam) auf Bronzeplatten aufzutragen und so Spiegel zu machen [1]). Glas ist demnach für diese Sache nicht unbedingt erforderlich.

Schon die Römer haben aber ausnahmsweise Glas dafür verwendet. Z. B. ist auf der Saalburg ein antiker Glasspiegel gefunden worden, d. h. ein farbloses Glas mit abgeschliffener Oberfläche, welches mit Goldfolie hinterlegt ist. Andere derartige Objekte sind mit Bleifolien hinterlegt [2]).

---

[1]) Vgl. Rein, Japan II, S. 533.
[2]) Vgl. Wiener Monatshefte für Chemie 1910 S. 781.

Bei uns hat man sich völlig daran gewöhnt, Glas für Spiegel zu verwenden, und wählt nun als Hintergrund ein Metall oder Amalgam von möglichst weißer Farbe. Natürlich ist es dabei wesentlich, daß die Glasplatte vollkommen planparallel ist und die Linien des zu spiegelnden Gegenstandes nicht verändert. Ferner fragt es sich, ob das Amalgam oder Metall ohne Einschluß fremder Körper mit dem Glase zu verbinden ist. Dies geschieht bei den Amalgamspiegeln in folgender Weise.

Die Glasplatte wird mechanisch gereinigt und mit Alkali von allem Fett befreit. Dann wird eine entsprechende, etwas größere Zinnfolie, feines geschlagenes Blatt aus möglichst reinem Zinn (98 % Zinn enthaltend), auf dem mit der Wasserwage eben gestellten »Belegstein» glatt ausgebreitet und allmählich mit so viel Quecksilber übergossen, als durch Adhäsion daran haftet.

In diese Quecksilberschicht schiebt man die vollkommen gereinigte Platte, indem man jede Luftblase vermeidet.

Nachher wird durch Beschweren mit Gewichten die Hauptmenge des Quecksilbers bald entfernt. Dann wird allmählich gehoben und nach und nach das überschüssige Quecksilber in einzelnen Tropfen zum Ablaufen gebracht, was mindestens acht Tage dauert. Endlich wird die Platte abgehoben.

Auf eine Platte von 1 qm kommen 25—30 kg Quecksilber, und schließlich bleiben darauf etwa 5 g eines chemisch sehr beständigen, durch helle Farbe ausgezeichneten Amalgams, welches etwa 23 % Zinn und 77 % Quecksilber enthält. Natürlich erfüllt sich dabei der ganze Raum mit Quecksilberdämpfen, was auf die Dauer von den Arbeitern empfunden wird. Sie bekommen Speichelfluß und andere Krankheitserscheinungen.

Es steht also mit dieser Arbeit etwa so wie mit der Herstellung von Zündwaren, welche weißen Phosphor enthalten. Man muß sie aufgeben, wenn es nicht möglich ist, die Schädlichkeit dabei zu vermeiden.

Obwohl die Spiegel allen Anforderungen entsprechen, ist es bei uns so weit, daß nur noch kleine Betriebe auf Bestellung diese Art der Arbeit ausführen.

Schon J. Liebig hat sich eingehend damit beschäftigt, etwas Ähnliches an die Stelle zu setzen. In der Tat kann man das Glas mit einer spiegelnden Schicht metallischen Silbers überziehen, wenn man anwendet:

1. ammoniakalisches Silbernitrat in Lösung,
2. Milchzucker mit Alkali zur Reduktion oder andere Reduktionsmittel. Jetzt dient gewöhnlich Silbernitrat und Weinsäure dazu.

Solches Verfahren hat keinerlei sanitäre Bedenken. Außerdem hat das Silberverfahren den Vorzug, für gebogene Flächen ebensogut zu passen wie für glatte, — andererseits aber große Schattenseiten.

Der metallische Niederschlag, der aus einer Lösung entsteht, schließt natürlich etwas fremde Stoffe ein, und dies genügt, um den Angriff durch die Atmosphärilien einzuleiten; auch wird Silber durch Schwefelverbindungen, namentlich durch Schwefelwasserstoff angegriffen.

Alle Silbergegenstände verändern sich daher so, daß man sie von Zeit zu Zeit putzen muß; der Silberspiegel wird unansehnlich, wenn er der Luft bewohnter Räume ausgesetzt ist, während Amalgam unverändert bleibt. Auch die Seeluft wirkt ein, weil sie Chlornatrium mitführt. Für Seestädte sind daher solche Spiegel nicht voll anerkannt. Für überseeische Transporte setzt man die Silberspiegel in Zinkkästen, welche verlötet werden.

Um diesen Veränderungen vorzubeugen, hat schon Liebig galvanische Überkupferung angeordnet. Jetzt werden meistens Lacküberzüge zum Schutze angebracht. In beiden Fällen kommt es darauf an, daß die Überzüge nicht abblättern oder Risse bekommen. Sonst leitet sich der Angriff in der Luft enthaltener Stoffe allmählich, aber deutlich ein. Man bemerkt größere Flecke oder lauter kleine Punkte, die unwirksam sind und sich allmählich vergrößern, so daß ein Sternenhimmel entgegenleuchtet.

Die größere Beständigkeit ist also zunächst ein unbestreitbarer Vorzug des Zinnamalgams gegenüber dem aus wässeriger Lösung abgeschiedenen Silber. Dazu kommt, daß die Bilder, welche beide Arten von Spiegeln geben, nicht gleich sind. Was dies betrifft, so sind die Linien des Bildes von seiner Farbe zu unterscheiden.

Die Linien eines Gegenstandes werden von dem Spiegel richtig wiedergegeben, wenn das Metall oder Amalgam gut reflektiert, und wenn die Glasplatte vollkommen planparallel ist.

Mit der Farbe ist es etwas anderes. Namentlich Farben, die wenig von Weiß abweichen, die Farbe des Elfenbeins, der Seide und auch diejenige der menschlichen Haut, werden durch manchen Spiegel auffallend verändert. Sie erhalten einen grünlichen Farbenton. Auch unsere Fingernägel nehmen den Ausdruck der abgestorbenen an, wenn man sie in solchem Spiegel ansieht. Daraus ergibt sich, daß ein Spiegel über unsere Gesichtsfarbe nicht unbedingt die Wahrheit sagt, sondern schmeicheln und beleidigen kann. Der Abnehmer und namentlich die Abnehmerin zieht das erstere vor; deshalb haben verschiedene Spiegel nicht gleichen Wert.

Die Sache ist nicht immer so ungünstig, wie hierdurch bezeichnet

ist; aber Amalgam und Silber sind stets von verschiedener Wirkung. Das erstere kann man gegen das Licht halten, wie man will: es zeigt seinen silberhellen Farbenton immer. Das Silber aber, in so dünner Schicht, erscheint, wenn man es gegen die Sonne hält, geradezu blau, immer bläulich oder gelblich, je nachdem man die eine oder die andere Seite betrachtet. Der Silberbelag läßt also blaue Strahlen durch und reflektiert das Licht mit gelblichem Tone. Deshalb ist das Bild des Silberspiegels nicht ganz so angenehm, wie das des Amalgamspiegels.

Nun gibt es ja andere Metalle, die wie Silber aus der Lösung zu reduzieren sind. Versucht man dies aber, so findet man, daß die Farbenunterschiede noch größer werden.

Platinspiegel werden zuweilen hergestellt, indem man das Platin nicht unter und hinter dem Glase, sondern auf dem Glase sich abscheiden läßt, in folgender Weise.

Platinchlorid, welches 100 g Platin enthält, wird mit 1400 g eines ätherischen Öles, welches beim Erhitzen das Metall reduziert und selbst ohne Rückstand verbrennt, zusammen verrieben. Dies ist gewöhnlich Lavendelöl, und zwar bedeutet das angegebene Verhältnis einen großen Überschuß, der allmählich durch Dekantieren entfernt wird. Nachher wird noch etwas Bleiborat, welches beim Schmelzen die Masse verbindet, zugesetzt und nochmals sorgfältig vermengt. Dann wird die Masse mit dem Pinsel aufgetragen und durch Erhitzen das Platin als Metall reduziert.

Dies hat ebensowenig wie die Goldabscheidung sanitäre Einflüsse.

Die Reduktion des Goldes geschieht, entsprechend derjenigen des Silbers, durch Stärkezucker in alkalischer Lösung, und zwar hinter dem Glase. Das Platin sowohl wie namentlich das Gold zeigt aber ganz deutlich die Färbung des Bildes.

Die Goldschicht hinter Glas läßt ebenso deutlich grüne Strahlen durch, wie die möglichst dünn ausgewalzte Goldplatte selbst. Die Folge davon ist eine rötliche Färbung des Bildes. Bei Spiegelung in Platin oder Gold denkt man an Abstammung von Negern oder rothäutigen Indianern.

Aus dem Ganzen geht hervor, daß die Amalgamspiegel für die richtige Farbenwiedergabe vorzuziehen sind.

Dabei ist aber das geschilderte Verfahren der Darstellung so ungesund, daß sie aus diesem Grunde allmählich von den Aufsichtsbehörden verboten wird.

Von diesem Gesichtspunkte aus hat es ein Interesse, festzustellen, daß es andere Methoden der Befestigung gibt, als die für Amalgam in der Spiegelfabrikation bei uns gebräuchliche ist. Zunächst ist zu er-

innern, daß die Japaner dasselbe Amalgam, welches man bei uns benutzt, auf Bronzeplatten in anderer Weise anbringen, indem sie auf Glas verzichten. Ebenso ist bei Platin das Glas Nebensache. Aber auch wenn man Glas für Spiegel behalten will, was ja unbedingt seine Vorzüge hat, findet man sich nicht einfach beschränkt auf die geschilderte Art der Befestigung des Amalgams.

Hinter Glas werden ja mancherlei Stoffe zu dekorativen Zwecken angebracht, und dabei kommen andere Verfahren der Befestigung in Gebrauch, die vielleicht auch für Amalgam passen könnten.

Darauf beruht z. B. die Nachahmung von Perlen. Die sogenannten Wachsperlen sind kleine Glaskugeln, die man im Innern mit der aus den Schuppen der Weißfische hergestellten sogenannten Perlenessenz, d. h. einer Suspension von Schuppen, überzogen hat. Die Befestigung dieser Schicht am Glase geschieht durch Eingießen von Wachs.

Zuerst werden die Schuppen der Weißfische, d. h. die ganz feinen, mit bloßem Auge nicht mehr unterscheidbaren, die man durch Dekantieren, Waschen mit Alkohol usw. ausgesondert hat, in Verbindung mit einem Klebstoff in die Glaskugel gegossen, so daß eine dünne Schicht vorläufig haftet. Dann wird Wachs nachgegossen und dadurch die wirkliche Befestigung erzielt.

Schließlich ist aber die Täuschung doch sehr leicht zu erkennen; die Glaskugel gibt bald nach und zeigt ihren Inhalt, während die echte Perle hart ist, massiv aus Calciumkarbonat gefügt, mit geringen Einschlüssen, die den eigentümlichen Glanz geben.

Da diese Einschlüsse, welche die Perle etwas grau, rosa usw. erscheinen lassen, mit dem Calciumkarbonat von einem Tier, nämlich von der Perlmuschel, Meleagris margaritifera, abgesondert werden, so mögen sie wohl ähnlich den Fischschuppen beschaffen sein.

Es ist keine besonders kostbare Substanz, die den Wert der Perle bestimmt. Das Gefüge der langsam entstehenden Perle ist das Eigentümliche, ebenso wie die Kristallform des Kohlenstoffs beim Diamanten.

Demgegenüber ist das Gefüge der künstlichen Perle ein so abweichendes, daß die Imitation wertlos ist. Man erkennt aber darin ein anderes Verfahren der Befestigung von Stoffen hinter Glas.

Ebenso könnte man zunächst das Amalgam unter Benutzung von Abzügen fertig machen, so daß dabei die Schädlichkeit der Quecksilberdämpfe vermieden wird. Dies muß jetzt schon geschehen, wenn gebogene Flächen durch Amalgam spiegelnd zu machen sind.

Dann wäre im allgemeinen das Amalgam (mit Wachs oder Paraffin) zu schmelzen, so daß die Dämpfe nicht schädlich werden, und auf

die Glasplatte zu gießen, damit es sich durch größeres spezifisches Gewicht darauf absetzt und erkaltet.

In dieser Richtung bewegen sich die neueren Patente auf dem Gebiete der Spiegelfabrikation. Die Sache bedarf aber noch der eingehenden Bearbeitung und ist ein ebenso lohnendes Arbeitsgebiet, wie das der Herstellung überall zu benutzender Zündwaren.

Durch alle bisher gemachten Angaben sind zwei Arten von Glas charakterisiert, und zwar die am meisten benutzten. Es sind dies:

1. Calciumalkalisilikate, in denen die Nebenbestandteile eine untergeordnete Rolle spielen. Sie sind ganz oder beinahe farblos und dienen für Fensterscheiben und alle Glasgegenstände, bei denen Durchsichtigkeit von Bedeutung ist;

2. Silikate, die außer Calcium und Alkalimetall merkliche Mengen von Aluminium, Eisen usw. enthalten. Sie haben Farbe, welche zwar nicht ein für allemal bestimmt ist, aber doch immer gleichmäßig für größere Mengen herzustellen ist, und heißen nach ihrer Hauptverwendung Flaschenglas.

Für beide in größtem Umfange benutzte Glasarten ist die Verarbeitung durch Blasen und Gießen sowie durch Formen und Schleifen nun genügend bezeichnet.

Allerlei Besonderheiten, sowohl bezüglich der Darstellung als auch der Verarbeitung, kommen aber in Betracht, wenn es sich handelt um

3. bleihaltige Glasarten. Der Bleigehalt der Gläser gibt sich durch höheren Glanz und durch optische Eigenschaften, insbesondere Lichtbrechungsvermögen zu erkennen.

Da diese Gläser verhältnismäßig weich und gut zu schleifen sind, werden sie für viele Zwecke benutzt, nämlich

1. ganz allgemein für Gebrauchsgegenstände, welche glänzen und strahlen sollen, also für Kronleuchterbehänge u. dgl.; auch Trinkgläser, die klingen, und viele Glaswaren, die sich durch feinen Schliff auszeichnen, sind bleihaltig.

Besonders bleihaltiges Glas dient außerdem

2. für Glasscheiben und prismatisch geschliffene Glasstäbe, welche dem Zwecke, das Licht zu zerstreuen, angepaßt sind, z. B. für Schiffslaternen, die weithin leuchten sollen, für die sogenannte Laterne der Leuchttürme, die eine Zusammenstellung prismatischer, geschliffener Glasstäbe um ein intensives Licht ist;

3. für optische Zwecke, d. h. für Herstellung von Brillen, von Okulargläsern für Mikroskope, für Prismen in optischen Instrumenten usw.;

4. für die Nachahmung von Edelsteinen.

Diesen verschiedenen Verwendungen entsprechend, sind die Glassätze, die mit Blei hergestellt werden, verschieden, schon für den erstgenannten Zweck, noch mehr für die anderen.

Schon die Silikate des Bleies allein sind lichtbrechende Gläser, deren spezifisches Gewicht bis zu 6,33 geht. Sie enthalten 20 % Kieselsäure, SiO_2, 80 % Bleioxyd, PbO, und 0,1 % Arsensäure, As_2O_5. Hier ist also die Ausnahme, auf welche bei der Begriffsbestimmung Rücksicht genommen wurde: ein Glas, welches nur ein Metall und kein Alkali enthält. Diese Ausnahme bestätigt aber nur die Regel, daß Glas im allgemeinen Alkalimetall und chemisch davon verschiedenes Metall enthält.

Diese Bleisilikate sind meistens gelblich gefärbt und haben mehr theoretische Bedeutung. Praktisch wichtiger sind die bleihaltigen Gläser, die sich der bei Calciumalkalisilikaten gegebenen Formel $K_2CaSi_6O_{14}$ anpassen, also im einfachsten Falle der Formel $Pb(SiO_2 \cdot SiO_2 \cdot SiO_2 \cdot OK)_2$ entsprechen.

Sie enthalten oft noch diesen oder jenen anderen Bestandteil, der dem Glase besondere Lichtbrechung verleiht oder sonst einen Einfluß auf die Eigenschaften hat. Wenn also die Hauptmasse des Bleiglases hergestellt wird durch Verschmelzen von Mennige, Kaliumkarbonat, Kalk und Kieselsäure, so ist nun zu sagen, daß diesem Satz außerdem zugefügt wird, je nach dem Verwendungszweck: Tonerde (Aluminiumhydroxyd), Borsäure, Zinkoxyd und Baryt, der gewöhnlich in der Form des Bariumnitrats zur Anwendung gebracht wird.

Beispiele solcher Erzeugnisse sind:

a) Brillengläser und Gläser für optische Instrumente,

b) Gläser für photographische Apparate.

Das Wort »Brille« stammt von Beryll; denn Berylle und Bergkristalle wurden zuerst geschliffen, um als Lichtsammler zu dienen.

Der Kaiser Nero scheint der Erste gewesen zu sein, der ein Monokel trug. Denn es wird berichtet, daß er, um die Gladiatorenkämpfe im Circus maximus besser zu verfolgen, einen geschliffenen Beryll vor's Auge klemmte. Im Mittelalter kommt dann der Gebrauch auf, den Inhalt von Reliquienbehältern und Monstranzen dadurch besser sichtbar zu machen, daß man solche geschliffene Steine in die Behälter einsetzte. Dies führte weiter zur Erfindung der Brillen im vierzehnten Jahrhundert. Die jetzt benutzten Gläser, welche, wie erwähnt, Brechungsexponenten bis zu 1,96 haben, werden als Augengläser von jeder erforderlichen Stärke hergestellt.

Bei der Benutzung für optische Instrumente ist zu beachten, daß stark brechende Gläser leicht Bilder mit farbigen Rändern geben. Solche Ränder sind deutlich an den aus Flintglas hergestellten Prismen zu bemerken, kurz: um so mehr, je bleihaltiger das Silikat ist. Sie werden störend bei den Bildern im Fernrohr, im Opernglase und ähnlichen Beobachtungsmitteln. Deshalb macht man besondere »achromatische«, d. h. farblose Linsen für Fernrohre usw., indem man das Bleiglas unmittelbar verbindet mit anders brechendem, sogenanntem Kronglas.

Flintglas und Kronglas sind alte, schon von Faraday eingeführte Bezeichnungen für verschiedene, mit oder ohne Borsäure hergestellte Gläser. Zum Beispiel gibt es ein Jenenser Glas, genannt Borosilikatflint für Objektive ohne sekundäres Spektrum, dessen mittlere Luftbrechung ausgedrückt wird durch die Formel $n_D = 1{,}550$. Für photographische Apparate sind Objektive herzustellen, die wieder andere, aber ebenso bestimmte Eigenschaften besitzen müssen.

Dieser Forderung entspricht z. B. ein Jenenser Glas, genannt »schweres Barytkronglas«, dessen mittlere Lichtbrechung ausgedrückt wird durch $n_D = 1{,}613$.

Es ist nicht zufällig, daß diese Feinheiten der Glasfabrikation sich besonders in Jena ausgebildet haben. Jena[1]) ist der Sitz der berühmten Firma Zeiß, welche solche Gläser für ihre optischen Instrumente gebraucht. Man sieht also, daß die wunderbare Vollendung der Ferngläser für den Handgebrauch, wie sie mit den Prismengläsern von Zeiß in Jena angefangen hat, und die Verbesserung der optischen Instrumente überhaupt mit dem Studium der dafür erforderlichen Glasarten zusammenhängt.

---

[1]) Wie lange die Glasbläserei schon in Jena geschätzt ist, geht aus folgendem Passus eines Schreibens von Döbereiner an Goethe hervor:

„Auch melde Höchstdenselben, daß ein sehr geschickter Glasbläser bei mir angekommen, welcher jedes physikalisch-chemische Glasgeräth bestens auszuführen im Stande ist. Das Großherzoglich chemische Laboratorium bedarf in diesem Augenblicke wieder mancherlei Geräthe dieser Art, teils zu dogmatisch-chemischem Zweck, teils zur praktischen Uebung eifriger Studiosen; und ich wage es daher, Ew. Excellenz untertänigst zu bitten, das Höchstdieselben gnädigst geruhen mögen, mir zur Darstellung dieser Bedürfnisse eine Summe von ***25 Talern*** *angedeihen zu lassen. Der Glasbläser wohnt bei mir im Hause und verspricht, jeden Auftrag möglichst billig und bestens auszuführen.*

Ehrfurchtsvoll beharret

Euer Excellenz

untertänigster

Jena, 29. November 1822. *Döbereiner.“*

Über die Darstellung der Bleigläser ist noch folgendes zu bemerken. Je höher der Bleigehalt steigt, um so schwieriger ist es, vollkommen homogene Schmelzen zu machen. Nicht allein die Möglichkeit der Reduktion von Blei, die bei höherer Temperatur eintritt, kommt in Betracht, auch die Sonderung in bleireichere und bleiärmere Schichten während des Schmelzens und Läuterns.

Gerade hierbei kommt es aber, wegen der angedeuteten Art der Benutzung, auf die Gleichmäßigkeit der Schmelze besonders an. Deshalb erfordern alle Bleigläser besondere Rücksicht bei der Darstellung. Man arbeitet mit kleineren Mengen und sorgt dafür, daß diese gleichmäßig bleiben, sobald die Läuterung eingetreten ist, die infolge der Benutzung ausgesucht reiner Stoffe glatt verläuft. Eine solche, richtig geläuterte Masse kann natürlich auch mit Rührapparaten bearbeitet werden, da sie keine Gallen und keine Gase mehr enthält.

Also kommt man auf kleinere Öfen zurück und hat eine passend hergerichtete Schmelzwanne mit Rührvorrichtung. Diese Rührer können darin bewegt und auch entfernt werden. Dies geschieht, nachdem die gleichmäßige, blasenfreie Masse hergestellt ist; dann läßt man in der Wanne erkalten, was immer mehrere Tage dauert.

Nachher wird die Wanne zerschlagen und der Glasblock angeschliffen, um zu beurteilen, wie große Stücke fehlerfrei zu erhalten sind. Demgemäß wird zerlegt und werden die einzelnen Stücke zunächst wieder durch Abschmelzen der Ränder und Kanten in runde Form gebracht. Daraus schleift man z. B. die optischen Gläser, und zwar gehört eine dicke Scheibe dazu, um ein kleines Okular für Mikroskope zu schleifen; eine Linse von 33 cm Durchmesser ist schon ein Objekt von großem Wert, und Prismen sind teures Glas. Zum Schleifen wird schließlich ein Kohlenstoff von diamantartiger Härte benutzt, den man durch Erhitzen von Retortengraphit mit Teer unter hohem Druck erhält. Somit hat man kleinen Betrieb mit lauter Besonderheiten.

Ähnlich steht es mit der Nachahmung der Edelsteine, auf die sich seit alter Zeit die Gewinnsucht gewisser Leute gerichtet hat. Schon Seneca berichtet, daß »Plumbum vitreum« dafür gebraucht werde; er wußte also schon, daß man sich des Bleies bediente. Im dreizehnten Jahrhundert war Venedig für diese Kunst bekannt, und zu Ende des achtzehnten Jahrhunderts fand der Wiener Goldschmied Joseph Strasser einen dazu besonders geeigneten Glasfluß, der nach ihm »Straß« benannt ist.

Der Straß gehört nicht nur zu den Bleigläsern, sondern ist nach Dumas' Analyse auch kalihaltig; er fand:

Kieselsäure	38,2 %
Bleioxyd	53,0 %
Tonerde	1,0 %
Kali	7,8 %
Borsäure und Arsensäure	Spuren.

»Straß« hat alle Eigenschaften der Bleigläser, läßt sich also auch leicht schleifen, z. B. wie Diamant geschliffen wird. Dadurch täuscht man aber keinen Kenner; denn das Bleiglas erreicht erstens den Brechungsexponenten des Diamants nicht und zweitens besitzt es nicht dessen ebenso charakteristische Härte.

Etwas täuschender sind gefärbte Edelsteine nachzuahmen, und zwar gibt es dafür mit viel Sorgfalt ausgearbeitete Vorschriften. Durch Zusammenschmelzen von Straß mit gewissen Metallpräparaten erzielt man die Edelsteinfarben in durchsichtigem Glase, und zwar sicher diejenige von:

Smaragd (grün) und
Saphir (blau).

Grünes Silikat, und zwar von verschiedenen, denjenigen des Smaragds gleichen Farben, entsteht beim Zusammenschmelzen von

1000 Teilen Straß mit
8 « Kupferoxyd und
0,2 « Chromoxydul

bzw. durch Zusatz von Eisenoxyd in geringer Menge.

Blaues Glas, wie Saphir erscheinend, entsteht aus

1000 Teilen Straß mit
15 « Kobaltoxydul;

rotes Glas, wie Rubin aussehend, mit Goldpurpur Au_2O,Sn_2O_3. Alle diese Fälschungen sind leicht zu erkennen, und zwar meistens ohne Beschädigung des Objekts.

Eingreifende chemische Reaktionen, durch welche die Zusammensetzung ermittelt werden könnte, sind hierbei freilich in der Regel nicht zulässig. Es ist nicht angängig, ein Stück abzuschlagen und zu analysieren. Dazu ist das echte Objekt zu wertvoll.

Wenn z. B. behauptet wird, daß ein echter Edelstein vorliege, so kommt in Betracht, daß dieser seinen Wert durch die Verstümmelung verlieren würde.

Man wird daher zunächst fragen, ob man den Stein glühen darf, um zu entscheiden, ob er echt ist. Wenn dies erlaubt ist, so ist zu erinnern, daß ein echter Rubin beim Glühen farblos wird und beim Erkalten erst grün, dann wieder ebenso schön rot wie zu Anfang.

Die Rubinimitation dagegen wird beim Glühen dunkel wie jedes Bleisilikat und verliert die Schärfe ihres Schliffes, was bei dem natürlichen Mineral nicht eintritt.

Es kann aber auch sein, daß die Glühprobe nicht gestattet wird. Denn es gibt Edelsteine, welche beim Glühen nicht, wie der Rubin, vorübergehende, sondern dauernde Farbenveränderung erleiden. Dies tritt ein, wenn die Farbe von organischen Stoffen herrührt, wie beim Rauchtopas, oder aus Gründen, welche bei den Färbungen des Achats angegeben wurden.

Wenn also die Glühprobe auch nicht gestattet wird, kommt es auf genaue Bestimmung der physikalischen Eigenschaften an. Die beste Unterscheidung liegt in genauer Bestimmung der Härte. Dabei unterscheiden sich natürliche Edelsteine von solchen Nachahmungen ebenso deutlich wie die natürliche Perle von der Wachsperle.

Auch bei den Edelsteinen liegt der Wert nicht bloß in der äußeren Schönheit, d. h. in dem Lichtbrechungsvermögen und der Farbe, sondern in der Widerstandsfähigkeit, und zwar gilt dies ebenso in physikalischer wie in chemischer Beziehung.

Beides ist am meisten bei den Diamanten ausgeprägt, und beides findet seinen Ausdruck in der Härte. Der Diamant ist ein Kohlenstoff von so dichter Struktur, daß alle gewöhnlichen Angriffe physikalischer und chemischer Art daran scheitern. Ebenso sind, abgesehen von den färbenden Stoffen, Saphir, Rubin und Korund nichts als Aluminiumoxyd; aber diese Tonerde ist aus natürlichen Prozessen mit solcher Härte hervorgegangen, daß sie physikalisch und chemisch ganz ungewöhnliche Widerstandsfähigkeit besitzt.

Der Smaragd ist Berylliumsilikat, ebenfalls von solcher Härte, daß er dadurch leicht von grünem Bleiglase zu unterscheiden ist.

Natürlich genügt es aber zur Feststellung der Härte nicht, daß man Glas ritzt; denn das tut, wie schon bei den Eigenschaften bemerkt, auch Quarz und tun alle scharfgeschliffenen Steine, die härter als dies oder jenes Glas sind. Man muß vielmehr richtig nach der Härteskala unterscheiden, um zu urteilen. Denn in dieser Skala haben die Edelsteine ihre bestimmte Nummer. Dadurch ergibt sich im allgemeinen: die auf diesem Wege immer wieder versuchte Nachahmung der Edelsteine ist als solche durch Anwendung der richtigen Untersuchungsmethoden zu erkennen.

Zugleich aber wird man auf den richtigen Weg gewiesen, der zu künstlicher Herstellung farbiger Edelsteine führt.

Wenn man Rubin machen will, muß man die Temperatur herstellen, bei welcher Tonerde zu klarer Masse schmilzt, und die Färbe-

mittel — Chrom usw. — anwenden, welche den natürlichen, im wesentlichen aus Tonerde bestehenden Rubin gefärbt haben.

Das ist Synthese und der synthetische Rubin ist von dem natürlichen so wenig zu unterscheiden, wie künstliches Alizarin von natürlichem. Der synthetische Rubin zeigt z. B. das für den natürlichen charakteristische Verhalten beim Glühen. Er verliert die Farbe und nimmt sie wieder an. Er hat die gleiche Härte, den Dichroismus und alle Eigenschaften des natürlichen Steines, behält auch die scharfen Linien seines Schliffes.

Solche Synthesen lassen sich durchführen, wenn es sich um Tonerde als Grundlage der Edelsteine handelt, also bei Rubin unter Zufügung ganz geringer Mengen von Chromoxyd. Natürlich erfordert die Sache immer viele Besonderheiten.

Wenn man einfach Tonerde mit Chromoxyd schmilzt, entstehen kleinkristallinische, undurchsichtige Gebilde. Um einen synthetischen Rubin, d. h. ein durchsichtiges, schönes Präparat zu erhalten, muß man in stark oxydierender Flamme arbeiten und außerdem langsam den Schmelzkörper entstehen lassen.

Es wird also sogenanntes Rubinpulver, d. h. Tonerde mit Chromoxyd, allmählich auf einen Magnesiastab aufgestreut, während von beiden Seiten Knallgasflamme mit viel Sauerstoff mitwirkt, und so gearbeitet, daß ein langsames Wachsen des Schmelzkörpers eintritt.

Ob es gelingen wird, die zum Schmelzen von Kohlenstoff nötige Temperatur zu erreichen und Diamanten herzustellen, ist zweifelhaft, weil der Kohlenstoff überhaupt nicht gern in den flüssigen Aggregatzustand übergeht.

Jedenfalls ist dieses Beispiel geeignet, den Unterschied zwischen minderwertiger Nachahmung und richtiger Synthese klarzumachen. Obwohl nun dadurch die Nachahmung der Edelsteine durch Glas als etwas Wertloses gekennzeichnet ist, eröffnet sich im ganzen durch die absichtliche und bestimmte Färbung des Glases ein großes und noch sehr dankbares Feld der Tätigkeit.

Farbiges Glas ist für das Kunstgewerbe sehr wesentlich, und zwar ist die jetzige umfangreiche Benutzung des farbigen Glases eine »renaissance«, bei welcher man sich auf vortreffliche Vorbilder aus dem Altertum und dem Mittelalter stützen kann, aber viel bessere Mittel als damals zur Verfügung hat.

Dabei kann jedes farblose Glas als Masse dienen; doch bedient man sich meistens des leicht schmelzenden Bleiglases.

Die Farbe wird gegeben durch geringe Mengen von

1. Metalloxyden,

2. Oxyden schwerer Metalle, z. B. von Mangan, Eisen, Zinn, Kupfer, Kobalt, Antimon, Uran und Chrom,
3. Salzen und salzartigen Verbindungen von Calcium, Blei, Silber und Gold,
4. Schwefelverbindungen, z. B. Schwefelkalium und Schwefelnatrium.

Beim Wasserglase ist die Braunfärbung durch Schwefelkalien bereits erwähnt. Die nun dazu kommenden Metalle und Metallpräparate bewirken eine große Mannigfaltigkeit von Färbungen des Glases.

Wesentlich dreierlei ist zu unterscheiden:

I. Das Metallpräparat suspendiert sich beim Schmelzen in dem Glase, so daß letzteres Farbe bekommt und seine Durchsichtigkeit verliert. Man erhält weiße oder bunte undurchsichtige Gläser, sogenannte Emailgläser und Glaspasten, die schmelzbar und formbar sind.
II. Das Metall tritt in den Bestand des Silikats ein; man bekommt dann die Farbe eines Polysilikats und behält die Durchsichtigkeit. Es entstehen sehr mannigfaltige und farbige durchsichtige Gläser.
III. Das Metallpräparat erfährt in der Schmelze eine Reduktion, so daß Oxydul oder Metall gebildet wird. Dann kommen Farbeneffekte zustande, weil diese Veränderungsprodukte im Glase sich verteilen.

Für I. geben Emailgläser und Glaspasten Beispiele sehr bekannter Benutzung. Wenn z. B. Zinnoxyd in ein Glas, zu dessen Schmelzen keine hohe Temperatur erforderlich ist, also in ein Bleialkalisilikat, eingerührt wird, während das Glas erkaltet, so entsteht ein weißes schmelzbares Email, das allgemein zu den Zifferblättern der Uhren verwendet wird.

Ähnlich wirken andere weiße Stoffe, die sich beim Schmelzen des Glases nicht verändern, z. B. arsenigsaures Blei. Schwächer wirkt Calciumphosphat, mit dem man das sogenannte Beinglas, d. i. Milchglas, macht.

Groß ist die Zahl der bunten Glaspasten. Schon die Oxyde des Eisens allein, die durch Glühen von Eisenvitriol erzeugt werden, liefern eine große Zahl von Abstufungen des Braun, Rot und Violett, die sich als solche der Glasmasse mitteilen lassen. Mit anderen Metalloxyden läßt sich jeder Farbenton erreichen, und dadurch erhält das Kunsthandwerk grüne, blaue, gelbe und andere »schmelzbare Farben«.

Diese werden in mannigfacher Weise benutzt. Man kann sie

1. nebeneinander und miteinander verschmelzen, so daß geflammte Muster entstehen;
2. in Schnittstücken zu Mustern und zu feinen Darstellungen vereinigen, so daß Mosaikarbeiten einfacher Art oder solche von künstlerischem Werte entstehen;

3. dienen sie für Emailarbeiten auf Kupfer und Messing. Man bringt auf diesen Unterlagen Scheidewände (cloison) aus feinen Metallstäben an, fügt die pulverisierte Paste von bestimmten Farben zwischen diese Scheidewände ein, schmilzt sie an, schleift nachher und poliert. So erhält man »objets cloisonnés.«

Zu diesen Glaspasten gehört der mit Gold hergestellte »leberige Fluß.« Der Goldpurpur, Au_2O; Sn_2O_3, ist eine »salzartige Verbindung«, die braune Pasten liefert. Sie läßt aber bei höherer Temperatur Metall, nämlich Gold entstehen und wirkt dann, wie unter III. erläutert wird.

II. Farbige durchsichtige Gläser entstehen in sehr vielen Fällen dadurch, daß ein Metall oder mehrere Metalle in den Bestand des Polysilikats eintreten.

In dieser Gruppe ist das kobalthaltige Polysilikat am wichtigsten. Intensive Blaufärbung entsteht immer, wenn man Kobaltoxydul, CoO, mit einem Glase zusammenschmilzt. Diese Färbung ist außerordentlich haltbar und in jeder Abstufung herzustellen; sie findet daher zahlreiche Anwendungen und ist um so mehr an die Spitze dieser Gruppe zu stellen, als sie eine lange Geschichte hat und zugleich das Wesen dieser Art von Färbung klar erkennen läßt.

Blaues Glas hat man schon im Altertum herzustellen verstanden. Dies erscheint nicht wunderbar, wenn man bedenkt, daß erstens Kobalterze, nämlich Speiskobalt nnd Glanzkobalt, in der Natur sehr verbreitet sind und zweitens unter leicht eintretenden Bedingungen der auffallende Farbenton auftreten mußte, nämlich wenn ein solches Erz geröstet wurde und dann mit einem Silikat zusammenschmolz.

Das Wesen der Sache wurde auch schon ziemlich früh verständlich gemacht. Genaueres weiß man darüber durch Christian Schürer seit dem 16. Jahrhundert, nämlich daß Kobalt mit Alkali und Kieselsäure die blaue »Smalte« bildet.

Dieses, jetzt in großem Maßstabe und aus reinen Materialien gewonnene Produkt entspricht ungefähr der Formel $K_2CoSi_6O_{14}$, ist also als ein Glas, welches Kobalt an Stelle von Calcium enthält, anzusehen; denn für Kaliumcalciumsilikat ergab sich die allgemeine Formel:

$$K_2CaSi_6O_{14}.$$

Smalte ist also ein Glas, welches himmelblau und durchsichtig erscheint; sie wird nicht nur als Glas, sondern als Farbstoff in größtem Umfange verwendet, was besonders in der Keramik von Wert ist. Sie ist ein blaues Doppelsilikat.

Es kommt nun dazu, daß man im Glase auch ein anderes Blau, mit Hilfe von Kupfer, herstellen kann, und so ergibt sich die Möglichkeit, Nuancen von Blau hervorzubringen. Wenn Kobalt und Kupfer

nebeneinander verwendet werden, so erhält man Veränderungen der blauen Farbe, also Grünblau usw., nach Bedarf.

So entwickelt sich unter Zuziehung anderer Metalle jede erforderliche Färbung des Glases. Wie schon mehrfach hervorgehoben wurde, färbt Eisen das Glas in unschöner Weise, wenn es in unbestimmtem Gemenge vorhanden ist, wie in dem gewöhnlichen Flaschenglase. Mißt man aber bestimmt ab, so färbt Eisen in brauchbarer Weise grün und Mangan in hervorragendem Maße violett. Beides ist nun wieder mit den erstgenannten Färbungen zu verbinden, und so bekommt man sehr viele Abstufungen und Farben durch geeignete Anwendnng von Kobalt, Kupfer, Eisen und Mangan. Auch geben Chrom, Kupfer und Zinn Färbungen des Glases, welche nicht nur einzeln, sondern auch für Übergangsfarben, also zusammen zu benutzen sind.

Nimmt man dazu noch die eigentümliche fluoreszierende Färbung, welche durch Uranverbindungen hervorgerufen wird, so ist von allen diesen zu sagen: es sind farbige Polysilikate, die als solche oder gemengt mit anderen zur Wirkung kommen.

III. Undurchsichtige oder durchsichtige farbige Gläser kommen aber noch in anderer Weise zustande. Die dritte Gruppe umfaßt die durch Reduktionsvorgänge hervorgerufenen Färbungen.

Dabei ist zunächst an den häufig in der Glasschmelze eintretenden Reduktionsvorgang zu erinnern, welcher Schwefelalkalien entstehen läßt. Diese färben gelb oder gelbbraun bis braun. So gibt es andere Vorgänge von Reduktion in der Glasschmelze, die mehrfach benutzt werden.

Am deutlichsten liegt ein solcher Vorgang bei kupferhaltigem Glase vor. Als »Vitrum haematinum«, d. h. blutrotes Glas, bezeichnet schon Plinius den sogenannten Hämatin, und man ruft jetzt Rot im Glase hervor, wenn man Kupferverbindungen mit Kohle oder anderen Reduktionsmitteln einschmilzt, so daß Kupferoxydul in dem Polysilikat entsteht. Es ist der sogenannte Kupferrubin, welcher neuerdings für Dreifarbenphotographie Benutzung findet.

Schmilzt man dann weiter mit Eisenfeile, so wird das Glas rotbraun und zeigt beim Erkalten in der gefärbten Masse glänzende Flitter: es ist der sogenannte »Aventurin« entstanden.

M. v. Pettenkofer hat diesen Vorgang erklärt; man nimmt an, daß metallisches Kupfer die glänzenden, kleinen Körper ausmacht, welche man in dem rotbraun gefärbten Glase sieht.

Auch Chromverbindungen lassen sich so reduzieren; aber es entsteht nicht Metall, sondern Oxydul in dem sogenannten »Chromaventurin«, der mit Kaliumchromat dargestellt wird.

Solche Reduktionserscheinung gibt auch die Erklärung der Färbungen,

welche durch Goldpräparate erzeugt werden, wenn bei höherer Temperatur eine Reaktion eintritt, die zu vollständiger Veränderung führt.

Das im Zusammenhange der Herstellung roter Gläser vielgenannte Goldpräparat entsteht durch Einwirkung von Zinnsesquioxyd auf Goldchlorid. Zum Beispiel erwärmt man Zinnchloridchlorammonium mit Zinn, bis dieses aufgelöst ist, und fügt schwache Goldlösung zu, um Goldpurpur, Au_2O; Sn_2O_3, auszufällen.

Das ist die Beobachtung, welche Cassius in Leyden schon 1663 machte, und seitdem wird diese Fällung benutzt, um Rubinglas herzustellen. Die Erklärung ist noch sehr neu. Das Gold, welches nach seiner chemischen Natur kein farbiges Doppelsilikat bilden kann, wird in der Schmelze reduziert und so fein verteilt, daß es nicht in Form von Flittern erkennbar bleibt, sondern Farbe gibt, indem eine feste Lösung entsteht.

Diese Farbe ist rot oder blau, wie R. Zsigmondy gefunden hat, bei Lösungen von metallischem Gold in reinem Wasser[1]). Man stellt diese Lösungen dar, indem man Goldchloridlösung durch Pottasche schwach alkalisch macht, zum Kochen bringt und dann durch Formaldehyd reduziert.

Die Lösungen bleiben jahrelang unverändert; man kann aber durch Zusatz von Salz das Gold verdrängen, d. h. wie andere gelöste Stoffe aussalzen. Auch im Glase erhält man durch Reduktionsvorgänge Blau und Rot; benutzbar ist aber namentlich Rubinrot.

Färbungen, die in dieser Weise zu erklären sind, kommen wohl häufiger vor. Besonders erinnert diese Färbung des Glases an das blaue Steinsalz und den ebenso blauen oder violetten Sylvin. Denn auch dabei war ein Mettall — Natrium oder Kalium — als solches die Erklärung für die eigentümliche Farbe des durchsichtig gebliebenen Minerals (vgl. S. 17).

Hiernach können Metalle oder Metallverbindungen auf dreierlei Art das Glas färben:

1. durch Vereinigung mit dem geschmolzenen Glase ohne weitere Veränderung. Dann wird das Glas undurchsichtig und bekommt die Farbe des betreffenden Präparats;
2. durch eine Reaktion, welche farbige Polysilikate, meist durchsichtige, bildet;
3. indem Reduktion eintritt, mit verschiedenem Erfolge.

Da nun Übergänge eintreten, je nach Temperatur und Dauer der Erhitzung, so kann man jeden Farbenton und jede Schattierung im Glase hervorrufen. Es gehört aber viel Übung und genaue Kenntnis des Wesens der Glasflüsse dazu, um gewisse Erfolge in der Schmelze

[1]) Annalen der Chemie Bd. **301**, 30 (1898).

zu erzielen, namentlich immer wieder denselben Farbenton zu erhalten, wie es für technische Zwecke erforderlich ist.

Man kann sich leicht vorstellen, wie geheimnisvoll diese Effekte erscheinen mußten, solange man nicht wußte, wodurch sie zustande kommen, solange sie aus unerklärlichen Gründen wieder ausblieben, nachdem sie schon oft beobachtet waren; sie blieben »arcana«, und wer sie kannte, war ein »Arkanist«.

Aber auch jetzt noch verdient dieses Gebiet wissenschaftlich besser bearbeitet zu werden, da noch vieles empirisch und doch für die Praxis sehr wertvoll ist.

Die Anwendungen dieser farbigen Gläser liegen sowohl auf dem Gebiete der Kunst und des Kunsthandwerks, als auf demjenigen der Industrie. Seit den ältesten Zeiten bekannt sind:

I. undurchsichtige Mosaiken. Zuerst ist Mosaik, d. h. musivische Arbeit wohl mit Hilfe von Stiften und Würfeln aus buntem Marmor gemacht worden. Noch jetzt findet man dies bei Ausgrabung römischer Villen, z. B. in Algerien aus der Zeit, da Feldherr Probus, der nachmalige Kaiser, in Numidien befahl.

Daraus entwickelte sich dann die entsprechende Arbeit mit Glaspasten, welche nach alten Mustern lange Zeit hindurch von der fabrica vaticana (päpstliche Anstalt) in Rom angefertigt wurden. Die alten Muster sind berühmt.

So findet sich die Hagia Sophia in Konstantinopel, die Capella palatina in Palermo mit berühmten Mosaiken ausgestattet, die um so glänzender wirken, als sie auf Goldgrund angebracht sind. Dieser Goldgrund besteht ebenfalls aus kleinen Glasstücken, die wie Gold erscheinen, weil dünne Goldblättchen, wie die bei dem Metall erwähnten, äußerst wenig wiegenden und deshalb nicht so sehr kostbaren, zwischen Glasplatten eingeschmolzen sind.

Nach diesen Vorbildern arbeitete man immer. Es geschah aber lange Zeit hindurch ausschließlich von der erwähnten, dem Vatikan unterstellten Fabrik. Sie lieferte sowohl Kopien wie Ausschmückungen für Kirchen usw. in Pastenarbeit; sie tut es noch jetzt.

Erst ganz neuen Datums ist das Wiederaufleben dieser Kunst für allgemeine dekorative Zwecke. Dabei haben besonders Venetianer, in erster Linie Salviati mitgewirkt. Eine vorzügliche Probe Salviatischer Kunst ist die große Rundmosaik an der Siegessäule zu Berlin, welche alle erforderlichen Farben und Nuancen nach dem A. v. Wernerschen Bilde mit richtiger Wirkung wiedergibt, besonders auch die Farben der Uniformen.

Vergleicht man den dort entfalteten Reichtum der verschiedenen

Töne der Farben mit denjenigen berühmter Antiken, z. B. der in Pompeji gefundenen und vielfach nachgebildeten, so erkennt man schon die großen Fortschritte, die auf diesem Gebiet gemacht wurden.

Seitdem ist diese Technik auch von deutschen Firmen, z. B. Puhl & Wagner, aufgenommen worden, so daß alles im Lande hergestellt werden kann.

II. Nicht weniger verbreitet ist die Benutzung durchsichtiger, gefärbter Gläser, ihre Zusammenstellung zu Mustern usw.

Wie durch die Teerfarben alles Erforderliche zum Färben der Gewebe geliefert wird, so sind auch die anorganischen Farben so gut wie vollständig.

Diese Farben finden eine große Anwendung bei dem Porzellan, bei der Majolika usw. Es tritt zunächst hier in die Erscheinung, mit dem besonderen Umstande, daß die Farben beständig sind bei der Temperatur des schmelzenden Glases, oder geradezu darin entstehen.

III. Zwischen den undurchsichtigen »Pasten« und den durchsichtigen Gläsern stehen matte, durchscheinende Erzeugnisse, als deren Beispiel »Milchglas« angeführt wurde. Sie finden zurzeit große Anwendung für elektrische Beleuchtung, weil diese sonst zu scharfe, häßliche Schatten wirft, und weil sie blendet. Der Prozentsatz des Lichtes, der durch mattes Glas verloren geht, beträgt aber bei Milchglas, d. h. Calciumphosphatglas, 30 % und kann bei unpassenden Arten noch viel mehr betragen.

Deshalb fertigt man für diesen Zweck besondere, durchscheinende Gläser, welche ihren Zweck erfüllen, indem sie viel weniger Licht fortnehmen. Dazu genügt in vielen Fällen, daß man sie oberflächlich matt macht in der gleich näher zu beschreibenden Weise, d. h. mit dem Sandstrahlgebläse oder mit Flußsäure. (S. 394.)

Opalisierende Wirkung wird hervorgebracht, indem man dem Glassatz Zusätze von Flußspat, Bariumkarbonat und Feldspat gibt.

Sogenanntes Alabasterglas ist das meistens für die Glocken elektrischer Bogenlampen benutzte. Seine Herstellung beruht darauf, daß man Kaliumcalciumsilikat schmilzt, ausschöpft und in Wasser abschreckt. So erhält man eine undurchsichtige, leicht zerbröckelnde Masse, die zermahlen wird.

Diese wird kalt eingetragen, wenn ein neuer Posten Glas eingeschmolzen ist. Dadurch tritt Abkühlung ein und verteilen sich die undurchsichtigen Teilchen in der geschmolzenen Masse, die man bei möglichst niedriger Temperatur verarbeitet.

Der Zustand dieses Glases könnte als ein unvollkommener, als ein fehlerhafter bezeichnet werden; denn man braucht nur länger und

höher zu erhitzen, um alles zu einer durchsichtigen und gleichmäßigen Glasmasse zu verschmelzen. Der erreichte Zustand ist aber gerade der richtige für die in Betracht kommende Verwendung, und das ist in der Technik entscheidend. Auch Dinge, die sonst als Fehler erscheinen, können in besonderen Fällen nützlich werden.

IV. Durchsichtig-farbige Gläser werden nicht nur als solche geblasen und geformt. Sie finden große Verwendung

1. im pulverisierten Zustande für Glas- und Porzellanmalerei;
2. für eine große Zahl von Kunstarbeiten aus Glas, die ihrem Wesen nach etwas näher zu kennzeichnen sind.

Das Wesen der Glasmalerei ist folgendes. Wenn leicht schmelzbare, durch Metalloxyde usw. in angegebener Weise gefärbte Glasflüsse zerrieben und mit dem Pinsel aufgetragen werden auf eine durchsichtige Glasplatte oder auf einzelne Teile derselben, die man nachher kunstvoll verbindet, so kann man diese »Farbe« als solche anschmelzen.

Zum Zwecke des Auftragens mit dem Pinsel muß die Farbe angerieben sein; das Bindemittel muß dann beim Brennen völlig verschwinden. Es ist ein ätherisches Öl, Terpentinöl, Lavendelöl und dergleichen. Ferner muß die Farbe erheblich leichter schmelzen als die Platte, z. B. die Smalte, ohne daß das Glas nachgibt. Im übrigen benutzt man beide Seiten der Platte, wodurch eine verschiedene Wirkung erzielt wird.

Auch werden besondere Wirkungen dadurch hervorgerufen, daß man nach Art des Dreifarbendrucks arbeitet. Es werden drei Glasplatten in den drei Grundfarben Blau, Rot und Gelb übereinander angebracht und durch Ätzung mit Flußsäure die reichste Farbenskala (über 4000 Nuancen enthaltend) erzielt.

Einer der hierbei erwähnten Unterschiede tritt für die weitere Benutzung in den Vordergrund.

Man braucht nicht allein Glas von verschiedener Farbe, sondern auch Glas von abweichender Schmelzbarkeit. Im allgemeinen heißen diejenigen Glassorten, die leicht schmelzen, »Glasflüsse«. Sie werden meistens unter Benutzung von Bleiglas hergestellt und dienen als schmelzbare Farben ebenso für Porzellan wie für Glas.

Der Unterschied in der Schmelzbarkeit spielt bei der weiteren Benutzung des Glases für Kunstarbeiten eine ebenso große Rolle wie der Unterschied in der Farbe. Er ermöglicht zunächst die Herstellung des sogenannten Überfangglases, und dieses führt zur Erklärung vieler Kunstarbeiten aus Glas.

Wie man mit der Glasbläserpfeife mehreremal in die geschmolzene Masse hineingehen muß, um eine größere Menge derselben aufzunehmen, so kann man auch verschiedene Glasarten nach-

einander an die Pfeife bringen. Wird dies gleichmäßig besorgt und dann gleichmäßig geblasen, so bilden die beiden Glasarten, da sie ungleich schmelzen, zwei Schichten, erkennbar in dem entstehenden Glaskörper; z. B. erhält man ein Gefäß mit innerer Schicht von Rubinglas, das äußerlich farblos ist. Es besteht aus »überfangenem« Glase und ist das einfachste Beispiel für eine große Zahl von »Kunstgläsern«.

Die Möglichkeit dieser Art von Arbeit liegt darin, daß die beiden Glassorten in ihrem Schmelzpunkte verschieden sind und die Verarbeitung nicht erfolgt, wenn beide vollständig geflossen sind, sondern bei 700—800°, im zähflüssigen Zustande.

Aus solchem »Überfangglase« macht das Kunstgewerbe außerordentlich viel mit den bekannten Mitteln, z. B. geblasene Röhren, die aus zwei verschiedenfarbigen Schichten bestehen; die Schnittstücke solcher Röhren liefern Perlen von zweifarbigem Glase, die als Zierat viel benutzt werden — bei uns und noch mehr in Afrika.

Um diese Schnittstücke benutzbar zu machen, so daß die Perlen den Faden nicht zerschneiden, muß man sie abrunden. Dazu vermengt man mit unschmelzbarem Pulver, z. B. mit Kohlenstaub, so daß die Hohlräume ausgefüllt werden und die Schnittstücke nicht aneinanderhaften. Dann wird es so weit erhitzt, daß Kanten und Ecken sich abrunden.

Wie diese Röhren aus zwei verschiedenfarbigen Glasmassen hergestellt werden, so benutzt man Glasstäbe von verschiedener Farbe für ähnliche Arbeiten.

Wenn man farblose Stäbe in eine rote Glasmasse einrollt, so entsteht ein Stab, dessen Schnittfläche eine rote Scheibe mit durchsichtigen Stellen zeigt. Zieht man diesen Stab nun aus, so daß Stäbe der gleichen Stärke entstehen wie die zuerst angewendeten, und schmilzt diese wieder in eine weiße Masse ein, so zeigt die Schnittfläche eine weiße Scheibe mit eingebetteten roten Scheiben; in den letzteren durchsichtige Stellen. Durch Anwendung farbiger Stäbe verschiedener Art und nach geeigneten Vorlagen lassen sich also Stäbe machen, die auf der Schnittfläche beliebige Muster zeigen.

So gibt es Glasknöpfe, die wie Mosaik aussehen, wenn sie erst richtig zubereitet, d. h. von Splittern befreit und glatt abgeschmolzen sind, wie bei Perlen aus Röhren angegeben wurde. Sie sind Schnittstücke von Glasstäben, und diese Glasstäbe sind durch wiederholtes Überfangen mit verschiedenfarbigem Glase hergestellt, nach einem bestimmten Vorbild gearbeitet. Anderseits kann man aber auch eine größere Zahl solcher Schnittstücke in eine farblose Glasmasse einschmelzen, wobei wieder in Betracht kommt, daß die verschiedenen Glassorten nicht leicht ineinander übergehen, sondern eine Individualität

bewahren, die das Muster hervortreten läßt. Sie tun dies aus dem angeführten Grunde, weil sie schwerer schmelzen als die durchsichtige Glasmasse.

Die Italiener nennen solches Ding »mille fiori« — tausend Blumen. Wenn auch nicht tausend, so sind es immerhin viele kleine Kunstgriffe, welche dazu führen, und alle leiten sich aus den angegebenen Verschiedenheiten in einfachster Weise ab.

Dabei kommt Kunstfertigkeit zur Geltung, die besonders auf Murano und den Inseln bei Venedig seit langer Zeit zu Hause ist.

Es gründet sich auf diese kleinen Objekte ein Handel, in dem Millionen jährlich umgehen, und zwar ist besonders der Orient großer Abnehmer. Weiter führt diese Kunstfertigkeit dazu, Stäbe aus Überfangglas in der mannigfaltigsten Weise zu gestalten, indem man im erweichten Zustande Eindrücke macht, dann auszieht und dabei dreht oder von neuem wieder einlegt usw.

Weißes Email und durchsichtiges Glas werden in gleicher Weise verbunden, so daß man Glasstäbe, die einen weißen Kern haben, erhält. Diese werden wieder erweicht, gedreht und gezogen und so weiße Spiralen in durchsichtigem Glase gebildet. Befestigt man dann mehrere solcher Stäbe auf einem aufgeblasenen, noch glühend weichen Becher und verschmilzt sie weiter mit diesem, so erscheint ein weißes Netz oder Gewebe im Innern des Glases.

Man sieht also, daß ein gewisser Unterschied in der Schmelzbarkeit — der natürlich wieder nicht so groß sein darf, daß sich beim Erkalten Risse bilden — ebenso wesentlich für alle diese Arbeiten ist wie die Farbe. Beides zusammen führt dazu, daß Glas in dem Kunstgewerbe ebenso vielseitige Benutzung findet wie in dem allgemeinen Gebrauch.

Diese Benutzung wird noch mannigfaltiger durch Verzierungen der Oberfläche des Glases, die ebenfalls ihrem Wesen nach leicht verständlich sind und viel Anwendung ermöglichen. Die Oberfläche wird verziert:

1. an heißen Gegenständen oder unter Anwendung heißer Glasmasse;
2. an richtig erkalteten und fertig geformten Gläsern.

1. Das mit regenbogenartigem Schein versehene und deshalb »Irisglas« genannte Glas wir hergestellt, indem man die noch heißen Gegenstände (an der Pfeife oder sonstwie) in einen trichterförmig hergestellten, erhitzten Muffelraum bringt, auf dessen Boden Salzgemische sich befinden, die flüchtige Produkte entstehen lassen; z. B. ist ein »Irispulver«:

Bariumkarbonat . . .	1 Teil
Strontiumkarbonat . .	0,5 Teile
Zinnchlorid	2 Teile

Daraus entstehen beim Erhitzen flüchtige Chloride, namentlich Chlorstrontium. Diese bilden auf dem Glaskörper einen leichten Anflug, der irisiert und natürlich nicht sehr haltbar ist.

Ferner kann man in Formen pressen, wie schon bei Darstellung der Flaschen erwähnt wurde, und bessere Wirkung hervorbringen, wenn die erhabenen Stellen nachher geschliffen werden.

Endlich kann man heißes und weiches Glas, wie schon erwähnt, mit feuchten Holzstäben usw. gut behandeln.

Man macht also sogenanntes Eisglas, d. h. Glas mit unregelmäßigen Vertiefungen, wenn man die noch heißen Glaskörper in eine entsprechende Höhlung, die mit feuchtem Stroh belegt ist, drückt. Das Stroh bildet dann eine wie gesprungen erscheinende Oberfläche und wird nachher ausgewaschen.

2. Völlig fertiges, erkaltetes Glas wird auf der Oberfläche gezeichnet und verziert durch Ätzen und Gravieren.

Fluorwasserstoff greift die Polysilikate des Glases ebenso an wie die Kieselsäure selbst; es entsteht Kieselfluorwasserstoff, und das Glas wird matt. Man überzieht den zu gravierenden Gegenstand mit Wachs, zeichnet in das Wachs oder trägt eine Graduierung ein, so daß einzelne Stellen des Glases frei werden, die Hauptmasse aber durch Wachs geschützt bleibt.

Die freien Stellen werden dann angegriffen und infolgedessen matt, wenn man Fluorwasserstoff zur Einwirkung bringt. Dies kann sowohl das Gas sein, als wäßrige Lösung.

Ferner kann man in Glas gravieren, unter Anwendung härterer Instrumente, mit der Hand und mit Stahlgriffeln.

Besonders aber hat das Anbringen von Zeichnungen und Zeichen auf der Glasoberfläche durch das Tilghmansche Sandstrahlgebläse Bedeutung gewonnen. Dieses Instrument beruht auf der seit langer Zeit bekannten Wirkung des vom Winde getragenen Sandes.

Nicht nur »gutta cavat lapidem« (der Tropfen höhlt den Stein aus); auch der Sand, wenn er von der Meereswelle oder dem Winde immer wieder auf dieselbe Stelle geschleudert wird, läßt seine Spuren zurück.

Ein auffallendes Beispiel dafür ist die riesenhafte, im Freien stehende Sphinx in Ägypten, die aus dem natürlichen Gestein an Ort und Stelle gemeißelt ist. Das Ohr des Sphinxkopfes ist etwa so groß wie ein erwachsener Mensch. Außer dem Kopfe ist die Brust, noch aus dem Wüstensande hervorragend, weithin sichtbar. Dabei bemerkt man, daß das Gestein aus härteren und weicheren Schichten besteht. Die weicheren sind durch den von dem Winde immer wieder dagegengeschleuderten Wüstensand bis zu merklicher Tiefe fortgenommen, während die härteren in Form diagonaler Streifen dieser Wirkung widerstehen.

Aber auch in Schweden, an der norddeutschen Küste und im Rheintal sind solche Wirkungen des Sandes auffallend, wo das Gestein aus verschiedenen Schichten besteht; sie sind, wenn man darauf achtet, überall als glatte Abschleifungen zu erkennen, wo der Sand durch die Gewalt des Windes regelmäßig anprallt.

Ebenso erklärt sich das Mattwerden von Glasscheiben, die häufig von feinem Sande, wie ihn der Wind mitführt, getroffen werden.

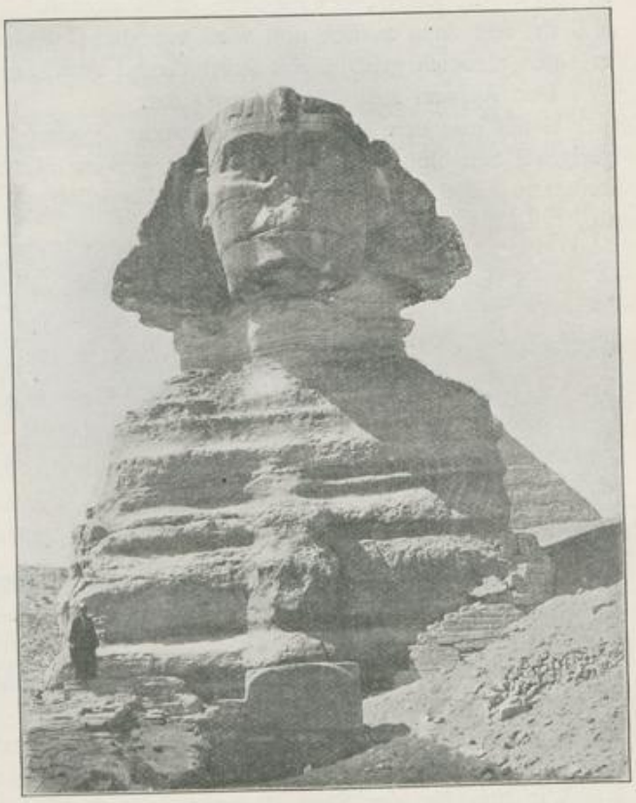

Fig. 86.

Denn die Kieselsäure ist härter als Glas und auch als manches Gestein. Sie wirkt also korrodierend, wenn man sie in kräftiger, geregelter Bewegung dagegenführt.

Dies geschieht mit Hilfe des Sandstrahlgebläses in allgemein benutzbarer Weise. Der den Sand bewegende Luftstrom ist ein saugender und wird nach Art des Injektors erzeugt, indem man Wasserdampf mit großer Geschwindigkeit durch ein feines Rohr führt, welches von einem weiteren, der Luft zugänglichen Rohr umgeben ist, so daß diese angesaugt wird.

Außer diesem Rohr hat der passend hergerichtete Apparat nur eine einzige Öffnung, und zwar am anderen Ende. Dort befindet sich gleichförmiger feiner Sand auf einer Schale dicht neben der Öffnung. Er wird von dem saugenden Luftstrom mitgerissen, wie von einem

starken Winde, und fliegt zunächst nach oben. Die Einrichtung des Apparats ist so gemacht, daß man zu gravierende Platten der Wirkung dieses schnell bewegten Sandes beliebig lange aussetzen kann.

Der Sand wird von der Schale aus gleichmäßig während längerer Zeit aufgenommen und in senkrechter Richtung nach oben geschleudert, so daß er die aufgelegte Glasplatte scharf angreift.

Er fällt dann zurück und wird von dem Luftstrom weitergeführt in einen ziemlich großen, mit Scheidewand versehenen Sammelkasten.

Den Apparat stellt die Figur 87 dar.

Damit nun dem Glase eine Zeichnung gegeben werde, legt man geeignete Schablonen auf, welche nur gewisse Stellen der Glasplatte freilassen. Die Schablonen sind aus Schmiedeeisen oder Kautschuk

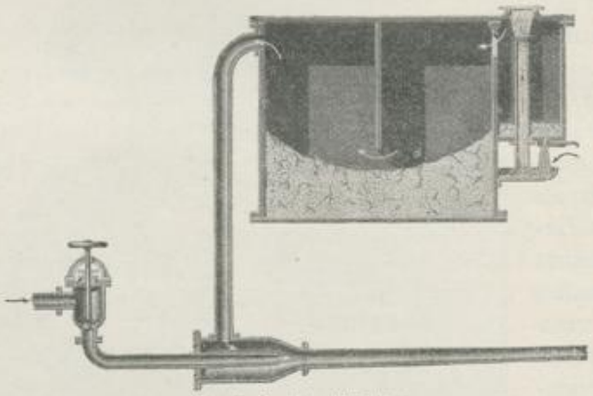

Fig. 87. Sandstrahlgebläse.

und widerstehen infolge ihrer Elastizität lange Zeit, während das spröde Glas angegriffen und mattgerieben wird.

So kann auch Stein bearbeitet werden; Ornamente und Inschriften jeder Art sind anzubringen.

Wie nun für den Stein länger anhaltende Wirkung zweckmäßig ist, so lassen sich beim Glase merkwürdige Effekte hervorbringen, wenn Überfangglas nur oberflächlich bearbeitet wird, sowohl durch Ätzen, als durch Gebläse.

Insbesondere kommt bei dem Gebläse viel auf die Feinheit des Sandes an, und man erzielt besonders matte Zeichnung durch Anwendung von feuchtem, statt trocknem Sande.

Das Verfahren hat allgemeines Interresse, weil es beweist, daß geringe Unterschiede in der Härte genügen, um einen sehr deutlichen Angriff zu ermöglichen. Der Sand ist nicht viel härter als der Stein; aber die Bewegung verstärkt seine Wirkung.

Daher dient der Apparat auch um metallische Oberflächen zu reinigen. Das Metall widersteht, aber die Oxydschicht wird entfernt; nachher kann man das Eisenblech gut verzinken usw.

Dadurch ist die Fertigstellung der Glasgegenstände durch Bearbeitung der Oberfläche ihrem Wesen nach klargestellt.

Alles dies betrifft Gläser von normaler Beschaffenheit. Sie sind zwar nicht alle so zusammengesetzt, daß sie der für Normalgläser aufgestellten Formel entsprechen, aber sie sind insofern normal, als sie richtig gekühlt und überhaupt nach den angegebenen Regeln dargestellt wurden.

Als eine Abnormität ist das Hartglas zu erwähnen, d. h. Glas, welches unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht zerbricht.

Die Entdeckung des Hartglases im Jahre 1874 hat nicht allein ungewöhnliches Aufsehen erregt, sondern ist hinsichtlich ihres unmittelbaren Wertes in so merkwürdiger Weise überschätzt worden, daß es sich lohnt, diese beiden Umstände klarzustellen.

Man muß sich dabei sehr alter Erzählungen erinnern, die bis zur Entdeckung des Hartglases in unserer Zeit vollständig als Fabeln galten und dann mit einem Male in vollem Umfange für richtig gehalten wurden, obwohl die Wahrheit auch hier in der Mitte liegt.

Zunächst haben Plinius[1]) und Cassius[2]) von Gläsern berichtet,

---

[1]) *Plinius Nat. Hist. 36, 195.* Ferunt Tiberio principe excogitato vitri temperamento, ut flexibile esset, totam officinam artificis eius abolitam, ne aeris, argenti, auri metallis pretia detraherentur, eaque fama crebrior diu quam certior fuit.

Man erzählt, daß unter Kaiser Tiberius eine biegsame Glasmischung erfunden worden sei, daß aber die ganze Werkstatt jenes Glasmachers vernichtet worden sei, damit nicht dem Kupfer, Silber und Gold sein Preis genommen würde. Es ist dies eine Erzählung, die lange Zeit umlief, aber mehr Verbreitung als Bestätigung fand.

[2]) *Cassius Dio 57, 21, 7* μετὰ δὲ ταῦτα προσελθόντος οἱ αὐτοῦ*) καὶ ἱκετείαν ποιουμένου κἀν τούτῳ ποτήριόν τι ὑαλοῦν καταβαλόντος τε ἐξεπίτηδες καὶ θλασθέν πως ἢ συντριβέν ταῖς τε χερσὶ διατρίψαντος καὶ ἀθρανστον παραχρῆμα ἀποφήναντος, ὡς αἱ συκγνώμης διὰ τοῦτο τευξομένου, καὶ ἀπέκτευνεν αὐτόν.

Als er aber danach zu ihm kam und sich aufs Bitten legte und dabei einen gläsernen Becher auf die Erde mit Absicht warf und diesen, der zerbeult oder vielmehr zusammengedrückt war, mit den Händen auseinanderbog und auf der Stelle wieder in Ordnung brachte, um dieserhalb Verzeihung zu erlangen, da ließ er ihn sogar töten.

*) Es handelt sich um einen Techniker, der in Rom eine Säulenhalle, die sich gesenkt hatte, auf wunderbare Weise wieder gerade richtete und dafür von Tiberius zwar belohnt, zugleich aber aus Rom verwiesen wurde.

welche frei waren von der sprichwörtlichen Zerbrechlichkeit. Viel weiter aber sind andere in ihren Erzählungen über solche Dinge gegangen; namentlich Suetonius, welcher berichtet, daß es einem römischen Künstler gelungen sei, zur Zeit des Kaisers Tiberius, dem Glase die Eigenschaft der Biegsamkeit zu erhalten, die es in heißem Zustande als Masse zeigt und in Form dünner Fäden auch noch verrät, wenn es kalt ist.

Sueton erzählt, daß dem Kaiser Tiberius Proben hämmerbaren Glases vorgelegt worden seien. Es zerbrach nicht, wenn man es hinwarf, sondern erhielt Beulen, welche der Verfertiger »otio et belle reparavit« (er glich sie mit dem Hammer wieder aus). Die Erzählung endet trübe. Der Kaiser stellte fest, daß der Manne der Einzige sei, welcher diese Kunst besaß, und ließ ihn dann enthaupten, um die Sache aus der Welt zu schaffen: »*decollari jussit*« sagt Suetonius. Er rechtfertigte seine Handlungsweise kurz, indem er sich zu seiner Umgebung wandte und sagte: »Wenn so etwas allgemein würde, müßte ja das Gold seinen Wert verlieren,« »*nam si hoc scitum sit, aurum pro luteo haberemus*« (vgl. auch *Petronii satirae 51.*)[1].

So weiß man von dem merkwürdigen Glase nichts weiter; aber man weiß wohl, daß viele dieser Erzählungen unrichtig sind.

---

[1]) *Petronii satirae 51.* Fuit tamen faber, qui fecit phialam vitream, quae non frangebatur. admissus ergo Caesarem est cum suo munere, deinde fecit reporrigere Caesarem et illam in pavimentum proiecit. Caesar non pote valdius quam expavit. at ille sustulit phialam de terra; collisa erat tamquam vas aeneum; deinde malleolum de sinu protulit et phialam otio et belle correxit. hoc facto putabat se solium Iovis tenere, utique postquam Caesar illi dixit: „numquid alius scit hanc condituram vitreorum?“ vide modo. postquam negavit, iussit illum Caesar decollari: quia enim, si scitum esset, aurum pro luteo haberemus.

Es hat aber einen Glasmacher gegeben, der eine gläserne Trinkschale herstellte, die sich nicht zerbrechen ließ. Der wurde also mit seinem Geschenk beim Kaiser vorgelassen; dann ließ er sich die Schale vom Kaiser zurückreichen und warf sie auf den Estrich. Der Kaiser entsetzte sich über die Maßen. Der andere aber hob die Glasschale von der Erde auf; sie war zerbeult wie ein bronzenes Gefäß; dann holte er ein Hämmerchen aus dem Schurz hervor und brachte die Schale gemächlich wieder in Ordnung. Als er dies getan hatte, glaubte er den Thron Jupiters zu besitzen, zumal nachdem der Kaiser ihn gefragt hatte: »Versteht sich noch ein anderer auf diese Art der Glasbereitung?« Paß nur auf. Als er mit »nein« geantwortet hatte, ließ ihn der Kaiser enthaupten, weil wir nämlich, wenn die Sache bekannt geworden wäre, Gold für Dreck ansehen würden.

Nachdem man deshalb angenommen hatte, daß dies alles Fabel sei, wendete sich die öffentliche Meinung plötzlich dahin, daß alles richtig oder wenigstens möglich sei, als im Jahre 1874 Roger de la Bastie durch sein »verre trempé« zeigte, daß in der Tat Glaswaren herzustellen seien, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen unzerbrechlich waren. Diese ließen sich sowohl aus Calciumalkaliglas herstellen, als auch aus Bleiglas. Er fertigte Gegenstände, die man stark werfen kann, ohne daß sie brechen oder springen.

Der Wert dieser Erfindung wurde dann überschätzt, wie aus Folgendem hervorgeht. Der »Verband deutscher Glasindustrieller« bot dem Erfinder, nachdem er drei Experten hingeschickt und sich über die Beschaffenheit der Produkte unterrichtet hatte, für sein in Deutschland durch Patente geschütztes Recht mehrere Millionen Mark. Die Verhandlungen kamen jedoch nicht zum Abschluß, weil de la Bastie hartnäckig pro Kopf des Deutschen einen Franken, also nach damaliger Bevölkerung 40 Millionen Franken forderte.

Wenn nun das Verfahren in der damals patentierten Form heute für wertlos gilt, ist offenbar die Bedeutung der Sache in einem Maße überschätzt worden — und zwar von Sachverständigen —, wie man es selten wieder findet.

Bei näherer Betrachtung ergibt sich folgendes. Das Wesen des Verfahrens liegt in einem schnelleren Abkühlen des zu härtenden Glases in Bädern von Talg oder Öl. Diese Bäder haben gewöhnlich 150—300°; man bringt die wieder zur Rotglut (700—800°) erhitzten, fertig geformten Gegenstände rasch hinein. Der Unterschied gegenüber der gewöhnlichen Art der Kühlung erscheint nicht groß. Aber die Flüssigkeit kühlt eben doch viel schneller als die Luft. Auch ist die Temperatur noch niedriger zu nehmen; bei besonders leicht schmelzenden Bleigläsern nimmt man sogar Bäder von 60—120°.

Dazu, daß de la Bastie sein Glas »trempé«, d. h. eingetaucht nennt, und dadurch an den gehärteten Stahl erinnert, welcher »acier trempé« heißt, muß man bemerken, das beides nicht gleich ist. Im Stahl geht, wie erörtert, beim Härten eine Veränderung des Kohlenstoffes vor, und Entsprechendes ist hier nicht anzunehmen.

Auch physikalisch ist der Vorgang etwas anders, weil der Stahl ein guter, das Glas aber ein sehr schlechter Wärmeleiter ist. Hier wird also nur die äußere Schale hart; die innere Masse des Glases kommt in einen anderen Zustand. Dem raschen Erstarren der Schale, welches als erste Folge der Abkühlung eintritt, kann die innere Masse nicht folgen; es bilden sich also im Innern unnatürliche Spannungen, die man beim Zerbrechen als größere Nachgiebigkeit, abnorme Sprödigkeit erkennt.

Diese Verschiedenheiten der Oberfläche und der inneren Masse werden um so größer, je schroffer die Temperaturunterschiede und je dicker die Massen sind.

Sind demnach die hier gewählten Unterschiede nicht so groß, wie bei den Glastränen, welche feuerflüssig in Wasser fallen, oder bei den Bologneser Flaschen, welche möglichst schnell in Luft von gewöhnlicher Temperatur abgekühlt werden, so mußte doch mit der äußeren Härte, welche allerdings erzielt wird, ähnliche Empfindlichkeit gegen besondere Anstöße, wie sie Glastränen haben, verbunden gehen, wenn man nach der gegebenen Vorschrift arbeitete. Dies zeigte sich zuerst.

Die Hartglasgegenstände zerbrachen allerdings nicht wie gewöhnliches Glas, aber sie zersprangen, wenn zufällig ihre empfindliche Stelle getroffen wurde, auch bei Erschütterungen, so daß von den Erzeugnissen de la Basties wohl nichts mehr übrig sein wird. Sie sind verschwunden wie diejenigen des Glaskünstlers aus der Zeit des Kaisers Tiberius.

Weitere Beschäftigung mit dem Gegenstande ergab allerdings, daß man Besseres machen kann, wenn man auf die erste Kühlung in den Bädern eine zweite mit ganz besonderer Sorgfalt anschließt. Bringt man den Hartglasgegenstand in einen Kühlraum, der genau seine Temperatur hat, und läßt man diesen Kühlraum äußerst langsam, von Grad zu Grad erkalten, so gleichen sich die Unterschiede des Äußeren und des Inneren in der Masse besser aus. So sind die jetzigen Hartgläser gemacht.

Das sind aber Feinheiten, die in einen großen regelmäßigen Betrieb nicht passen, weil jeder Gegenstand aus der ersten Kühlung mit schwer zu bestimmender Temperatur hervorgeht. Die Folge ist, daß viele Stücke nachher Risse bekommen und als unbrauchbar auszuschalten sind, so daß nur wenige gut und damit unverhältnismäßig teuer werden: ausgesuchte Stücke.

Immerhin ist die Anregung nicht zu unterschätzen, die durch solche Entdeckung gegeben wird. Man sieht, daß man die Eigenschaften des Glases nicht als etwas Gegebenes hinzunehmen hat, sondern daß man sie beeinflussen kann, und zwar mit auffallenden Ergebnissen.

So findet Hartglas in einzelnen Fällen Benutzung z. B. für Wasserstandsgläser bei Schiffskesseln.

So hat Schott in neuerer Zeit unter dem Namen »Verbundglas« Röhren und andere Hohlgefäße hergestellt, welche gegen Temperaturunterschiede viel weniger empfindlich sind als gewöhnliches Glas. Sie bestehen aus Glassorten, welche verschiedene Ausdehnung in der

Wärme erfahren und welche man nach Art des Überfangglases vereinigt hat, sodaß die Röhren usw. aus zwei Schichten bestehen.

Dieses Glas kann z. B. auf Temperaturen von mehr als 200° erhitzt werden und sofort in kaltes Wasser fallen, ohne zu springen. Das ist praktisch von Bedeutung, weil z. B. Wasserstandsgläser auf Lokomotiven, die recht heiß werden, dadurch springen, daß Schnee oder Eis von außen darauf fällt und bei »Verbundglas« solche Übel vermieden werden. Es eignet sich auch für Lampenzylinder und chemische Apparate.

Viel wichtiger aber ist, im allgemeinen festzuhalten, daß das Glas kein chemisches Individuum ist und schon deshalb keine ganz bestimmten Eigenschaften hat.

Die letzteren hängen, wie in der Einleitung gezeigt, von der Zusammensetzung und von physikalischen Verhältnissen ab. Man hat also in dem Glase einen Stoff unter Händen, an dem sich noch manches ändern und verbessern läßt, wenn die Vorgänge, die zu dieser oder jener Eigenschaft führen, richtig erkannt und dann beeinflußt werden.

Es ist nun zweckmäßig, an die allgemeine Einteilung der Silikate zu erinnern. Dabei wurden als erste Klasse diejenigen der Alkalien, das Wasserglas aufgeführt. Auch in der zweiten Klasse spielen die Alkalien noch eine wichtige Rolle. Das »Glas« enthält regelmäßig Alkali.

Allerdings wurde ein Bleisilikat, welches ungefähr der Formel $PbSiO_3$ entspricht, mit angeführt und erwähnt, daß Thallium die Alkalien vertreten kann. Aber diese Ausnahmen bestätigen nur die Regel des Alkaligehalts.

Wie nun viele Vorzüge des Glases, namentlich die Schmelzbarkeit, damit zusammenhängen, so ist andererseits das Glas der Einwirkung von Wasser in der früher erörterten Weise zugänglich, eben weil es Alkalien enthält.

Die Beständigkeit gegen Wasser wird bei den nun folgenden alkalifreien Silikaten so groß, daß sie unter allen Umständen genügt. Silikate des Calciums allein haben schon diese Eigenschaft; dazu kommen Silikate von Calcium und Aluminium. Die einfacher und die verwickelter zusammengesetzten spielen ihre Rolle in der dritten Gruppe, die bei der allgemeinen Einteilung angeführt wurde, bei

Mörtel und Zement.

Der gewöhnliche Luftmörtel, der ganz allgemein mit dem Erfolge verwendet wird, daß er erhärtet und die Bausteine miteinander fest