Werkstoff Glas

Autor(en): **Roth, Paul W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG**

Band (Jahr): **63 (1991)**

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-378265

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

weil sie ein zu eindimensionales, statisches Bild der Technikgeschichte vermitteln und damit einer Vorstellung Raum geben, die einen abgeschlossenen Entwicklungsschritt auf den anderen fortschreitend folgen lässt. Das «Gleichzeitige des Ungleichzeitigen» als Ausdruck des historischen Entwicklungsprozesses bliebe unberücksichtigt.

Unter dem Eindruck der Faszination vom neuen Werkstoff Eisen im Laufe der industriellen Revolution ist die konkrete Entwicklung waldreicher Regionen aus der Optik wissenschaftlicher Betrachtung geraten. Deshalb konnte eine Region wie Lippe bis heute in der Industrialisierungsforschung als konservativer und rückständiger «Spätkommerstaat» (Steinbach) gelten. Sie steht dagegen nach meiner Auffassung für eine Entwicklung, die eher evolutionär als revolutionär zu bezeichnen ist, in der der Werkstoff Holz ihr den Weg wies. Mit seiner inhomogenen und individuellen Eigenart band er die handwerkliche Produktion über einen langen Zeitraum an sich und wurde erst als «Holzwerkstoff» in Form der Span- und Faserplatten maschinengerecht und damit in letzter Konsequenz industrialisierungsfähig. ■

Werkstoff Glas

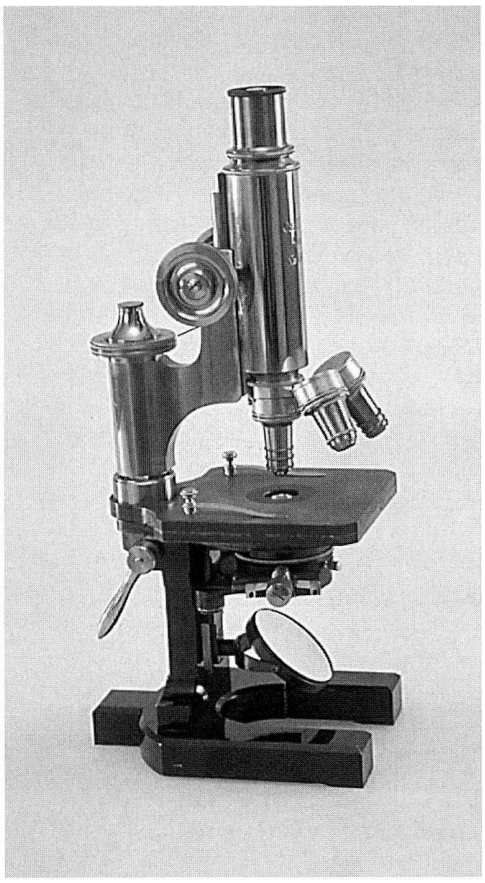
Das amorphe Glas nimmt unter den vielfach metallischen und kristallinen Werkstoffen eine Sonderstellung ein.*) Schon die Definition dieses Stoffes bereitet Schwierigkeiten; «Glas» ist nämlich Sammelbegriff für eine kaum überschaubare Zahl von Stoffen verschiedenster Zusammensetzung, die sich eben in einem glasigen Zustand befinden. So können auch in der Natur glasige Stoffe gefunden werden, wie z. B. der **Obsidian,** der in seiner Zusammensetzung dem vom Menschen geschaffenen Glas ähnelt und nicht selten in vulkanischen Gebieten vorkommt. Er besteht aus Reaktionsprodukten von Sand, Natrium und Kalziumverbindungen und wurde in der Vorzeit, aber auch bei den Azteken, zu Messern, Waffen, auch Kultgegenständen, verarbeitet.

Bei grossen Meteoriteneinschlägen wurde durch die freiwerdende Energie Erdgestein in schmelzflüssigem Zustand in die Atmosphäre geschleudert. Als Glasklümpchen, sogenannte **Tektite**, fiel das Gestein auf die Erde zurück. Tektite sind flaschengrüne bis schwarzbraune nuss- bis faustgrosse Glaskörper mit glänzender oder genarbter Oberfläche. Schlägt der Blitz ein, können **Fulgurite** (Blitzröhren) entstehen, die ca. 0,5–2 mm Wandstärke, einen Durchmesser von ungefähr 10–30 mm und Längen bis zu mehreren Metern aufweisen.

Die Fähigkeit zur Glasbildung besitzen verschiedene chemische Stoffe, unter den anorganischen hauptsächlich die Sauerstoffverbindungen (Oxide) von Silizium (Si), Bor (B), Phosphor (P), Arsen (As) und auch Germanium (Ge). Lässt man diese nach dem Schmelzen erkalten, so erstarren sie im wesentlichen ohne Kristallisation, und damit entsteht **Glas.** Dieses Verhalten zeigen die genannten Glasbildner auch bei Zumischung anderer Metallverbindungen innerhalb bestimmter Zusammensetzungsbereiche. Durch den Einbau solcher «glaswandelnder» Komponenten entstehen allerdings veränderte Bindungsverhältnisse und Gruppierungen in der Netzwerkstruktur, die entsprechende Änderungen der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Gläser zur Folge haben. Der glasige Zustand ist jedoch nicht auf Oxide beschränkt: So können unter anderem auch manche organische Flüssigkeiten bei niedrigen Temperaturen in den Glaszustand übergehen (etwa Glyzerin bei −90 °C). Bis ins 18. Jahrhundert verwendete man für die Glaserzeugung fast nur Sand, Pottasche und Kalk. Bei Bedarf wurden hierzu Stoffe mit färbenden Metalloxiden beigemischt. Heute werden etwa 60 % der rund 90 vorkommenden Elemente (vom Wasserstoff bis zum Uran) bei der Glasherstellung eingesetzt. Für verschiedene Glasarten, die für optische Zwecke ge-

Univ.-Prof.
Dr. Paul W. Roth
Institut für Geschichte, Abteilung für Geschichte von Industrie, Technik und Montanwesen
Universität Graz
Heinrichstr. 26/II
A-8010 Graz

*) *Der vorliegende Beitrag bezweckt, gesicherte allgemeine Informationen über den Werkstoff Glas weiterzuleiten. Er beruht auf dem vorzüglichen Büchlein von Heinz G. Pfänder: Schott-Glaslexikon. Überarb., ergänzt von Hubert Schröder, München, mgv 1984/4². Dortige Angaben wurden bereits kaum verändert wiedergegeben in: Werkstoff Glas, in: Glas und Kohle. Katalog zur Landesausstellung 1988 (hrsg. von Paul W. Roth), Graz 1988, S. 95–104.*



Zeiss-Mikroskop, 1889.

braucht werden, sind nahezu zwanzig verschiedene Stoffe notwendig. Schon auf Grund der Zusammensetzung sind die Anwendungsmöglichkeiten von Glas im Alltag, in Wissenschaft und Technik sehr gross!

Wie soll der Begriff «Glas» also definiert werden? Darauf hat die Wissenschaft verschiedene Antworten gefunden. Einige davon seien wiedergegeben:

«Glas ist ein anorganisches Schmelzprodukt, das, ohne Kristallisation abgekühlt, einen erstarrten Zustand annimmt.»
«Eine eingefrorene unterkühlte Flüssigkeit wird als Glas bezeichnet.»

Tatsächlich verhält sich Glas wie eine äusserst zähe Flüssigkeit, die sich bei normaler Temperatur durch äussere Kräfte nur äusserst langsam verformen lässt. Diese geringfügige Deformation lässt sich freilich errechnen und sogar messen.

Präzise erscheint folgende Definition: «Glas sind alle Stoffe, die strukturmässig einer Flüssigkeit ähneln, deren Zähigkeit bei normalen Umgebungstemperaturen aber so hoch ist, dass sie als fester Körper anzusprechen sind. Im engeren Sinn wird der Begriff Glas für alle anorganischen Verbindungen angewendet, die diese Grundeigenschaften besitzen.» Damit ist auch eine Abgrenzung zu den Kunststoffen gegeben, die organischen Ursprungs sind. Allgemein lässt sich allerdings der Glaszustand definieren.

Allgemeine Charakteristik des Glaszustandes

Physikalisch betrachtet sind alle Gläser gegenüber einem Kristall gleicher Zusammensetzung instabil. Grundsätzlich sollte bei Abkühlung der Schmelze unter den Schmelzpunkt T_s einer Substanz Kristallisation einsetzen. Dass sie bei Glasschmelzen ausbleibt, liegt im wesentlichen daran, dass die molekularen Bausteine (im Silicatglas SiO_4-Tetraeder) räumlich untereinander vernetzt sind: Um Kristalle zu bilden, müssen erst die Bindungen aufgebrochen werden, damit sich Kristallkeime formieren können. Dies ist aber erst bei tieferen Temperaturen möglich, wo jedoch die Zähigkeit der Schmelze die Umlagerungen der Baugruppen und damit das Kristallwachstum erschwert. Die Neigung zur Kristallisation (= Entglasung) nimmt im allgemeinen mit der Abkühlgeschwindigkeit im kritischen Temperaturbereich unterhalb T_s und mit der Zahl der Stoffkomponenten ab. Sie lässt sich daher auch durch die Zusammensetzung beeinflussen. Erwünscht wird die Entglasung bei Glaskeramiken.

Der Unterschied zwischen einem System (A), das bei Unterschreitung des Schmelzpunktes kristallisiert, und einem gleichen System (B), das infolge Behinderung der Kristallisation, beispielsweise durch rasche Abkühlung, glasig erstarrt, kann deutlich gemacht werden, wenn man den Verlauf des Raumbedarfs, das heisst des auf Gramm bezogenen Volumens, mit sinkender Temperatur verfolgt. Sobald die Temperatur auf den Schmelzpunkt T_s abgesunken ist, macht System A einen Sprung zur kristallinen Masse; System B hingegen verdichtet sich als unterkühlte Flüssigkeit weiter, errreicht aber auch bei Raumtemperatur die Packungsdichte des kristallisierten Systems nicht: Im Temperaturbereich der Einfrier- oder Transformationstemperatur T_g geht die unterkühlte Glas-

schmelze vom plastischen in den für Glas typischen spröden Zustand über. Die Beweglichkeit der Strukturelemente ist hier nur mehr äusserst gering, was durch die hohe Zähigkeit (= Viskosität) des Glases in diesem Zustand zum Ausdruck kommt. Dabei zeigt sich, dass nicht nur sämtliche anorganischen Gläser, sondern alle Substanzen, die das Verhalten des Systems B aufweisen, bei der Temperatur T_g den Zähigkeitswert $\eta \approx 10^{13}$ Poise (P) haben. Zum Vergleich haben bei 20 °C Wasser eine Zähigkeit von 0,01 P, Olivenöl ungefähr 10^2 P, Honig 10^3 P.

Der Verlauf der Zähigkeit des Glases im Zusammenhang mit der Temperatur ist für die gesamte Glastechnik von grundlegender Bedeutung. Um eine homogene Schmelze zu erzielen, muss sie auf eine Temperatur gebracht werden, die bei der $\eta \approx 10^2$ P liegt. Die Heissverarbeitung wird je nach Verfahren bei 10^3 bis 10^8 P vorgenommen. Ist der Temperaturunterschied zwischen den Zähigkeitswerten 10^4 und 10^8 P gross, spricht man von «langem Glas», ist er klein, von «kurzem Glas». Für die Verarbeitung sind diese Unterschiede wegen der verfügbaren Verformungszeit sehr wesentlich. Das Viskositätsverhalten verschiedener Glasarten zeigt folgende Tabelle:

10^4 P:	Verarbeitungstemperatur (V_A)
$10^{7,6}$ P:	Erweichungstemperatur (E_W); Verformung durch Eigengewicht
10^{13} P:	Obere Kühltemperatur im T_g-Bereich
$10^{14,5}$ P:	Untere Kühltemperatur im T_g-Bereich

Zwischen der oberen und der unteren Kühltemperatur vollzieht sich der Übergang vom plastischen zum spröden Zustand, gleichzeitig werden mechanische Spannungen, die etwa durch zu rasche Abkühlung entstanden sind, wieder abgebaut. Dazu genügen bei 10^{13} P schon ungefähr 15 Minuten, bei $10^{14,5}$ P dauert der Spannungsabbau schon viele Stunden.

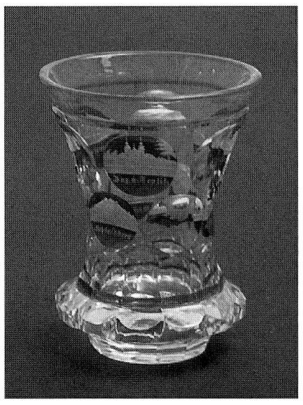
Besonderheiten zeigen sich auch bei den mechanischen Eigenschaften der Gläser. Bei Berechnungen der Zugfestigkeit kommt man auf Werte in der Grösse von ungefähr 10^4 N/mm². Die technische Festigkeit ist jedoch einige hundertmal niedriger und stark vom Oberflächenzustand des Glases abhängig. Sorgt man allerdings durch Oberflächenbehandlung (etwa Schutzschichten usf.) dafür, dass Verletzungen und auch kleinste Risse vermieden werden, so erreicht man Festigkeitswerte bis zu etwa 5×10^2 N/mm², aber immer noch weit unter dem theoretischen Wert. Dies liegt daran, dass beim Erstarren der Schmelze stets auch im Inneren Fehl- und Störstellen «eingefroren» werden, die festigkeitsmindernd wirken. Bei dünnen, frisch gezogenen Glasfasern ist die Zahl der Fehlstellen weit geringer und daher die Festigkeit beträchtlich grösser.

Es ist bekannt, dass Glas bei schroffem Temperaturwechsel, vor allem von heiss nach kalt, leicht zu Bruch geht. Zu diesem Verhalten tragen mehrere Eigenschaften bei: das schlechte Wärmeleitvermögen, die relativ hohe Wärmedehnung alkalireicher Gläser und die begrenzte Zugfestigkeit. Beim «Abschrecken» des Glases, das auf eine Temperaur unterhalb T_g erhitzt wurde, wird zuerst nur die Aussenschicht abgekühlt, die dabei ihr Volumen zu verkleinern versucht, dabei aber durch den noch heissen Kern gedehnt wird, wodurch hohe Zugspannungen entstehen. Wird dabei die durch Kerbstellen in der Oberfläche verminderte Zugfestigkeit überschritten, so setzt hier der Bruch ein, der sich zumeist mit grosser Geschwindigkeit nach dem Innern fortsetzt. Ein schnelles Aufheizen hingegen ist deswegen weniger gefährlich, weil in diesem Fall die Aussenschicht unter Druckspannung gerät und die Druckfestigkeit der Gläser mindestens das 10fache der Zugfestigkeit beträgt.

Die Glasarten

Es gibt eine grosse Anzahl von Glasarten, die sich nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen lassen. Unterscheidungsmerkmale können beispielsweise die chemische Zusammensetzung, die Art der Produktion von Glaserzeugnissen oder ihr Verhalten bei der Bearbeitung sein.

Am häufigsten ist die Einteilung nach dem chemischen Aufbau. Auf diese Weise kommt man zu den drei Hauptgruppen Kalknatronglas, Bleiglas und Borosilicatglas. Diese machen insgesamt mindestens 95% des erschmolze-



Biedermeierglas, geätzt, geschliffen.

nen Glases aus. Die restlichen 5% entfallen auf Spezialgläser, die damit nur in geringen Mengen hergestellt werden. Dabei sind Tausende verschiedene Glasarten bisher entwickelt worden, und sehr viele davon finden für spezielle Zwecke Anwendung. Von ganz wenigen Ausnahmen abgesehen, handelt es sich bei allen Glasprodukten um Silicatgläser, in denen Siliziumoxid (SiO_2) die Hauptkomponente darstellt.

Kalknatrongläser
Die weitaus grösste Menge aller industriell hergestellten Gläser gehört der Gruppe der sogenannten Kalknatrongläser an. Wie der Name sagt, spielen dabei neben dem Sand hauptsächlich Natron und Kalk als Bestandteile eine Rolle. Ein typisches Kalknatronglas besteht zu 71 bis 75% aus Sand (SiO_2), 12 bis 16% aus Natron (Natriumoxid, als Rohstoff Soda oder Natriumkarbonat), 10 bis 15% aus Kalk (Kalziumoxid aus dem Rohstoff Kalk oder Kalziumkarbonat) und einigen Prozenten an anderen Stoffen, etwa zum Färben. Hin und wieder wird ein Teil des im Kalk enthaltenen Kalziums durch Magnesium oder des in der Soda vorkommenden Natriums durch Kalium ersetzt. Dennoch können auf diese Weise zustande gekommene Glasarten wegen ihrer weitgehenden Ähnlichkeit den Kalknatrongläsern zugerechnet werden.

In der Praxis tritt Kalknatronglas besonders in Gestalt von Getränkeflaschen, Konservenglas, einfachen Trinkgläsern und Flachglas auf.

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Kalknatronglas schaffen die Voraussetzungen für seine weite Verbreitung. Zu den wichtigsten gehören die Lichtdurchlässigkeit, die glatte porenfreie Oberfläche.

Der relativ hohe Alkaligehalt erniedrigt zwar die Schmelztemperatur, erhöht aber den Wärmedehnungskoeffizienten. Wegen der hohen Wärmedehnung ist aber die Widerstandsfähigkeit von Kalknatrongläsern gegen Temperaturwechsel gering.

Bleigläser
Wird an Stelle von Kalzium in grösserem Umfang Blei als Oxid in das Gemenge eingeführt, erhält man einen Glastyp, der als Bleikristall am bekanntesten ist. Ein solches Glas kann sich etwa aus 54 bis 65% SiO_2, 18 bis 38% Bleioxid (PbO), 13 bis 15% Alkalioxiden (Soda, Na_2O, und Pottasche, K_2O) sowie einigen anderen Oxiden zusammensetzen. Gläser mit einem Bleioxidanteil von unter 18% heissen Kristallglas. Zu ihrer Schmelze werden in unterschiedlichem Umfang und bei teilweisem Ersatz von Bleioxid auch Oxide von Kalium, Zink und Barium herangezogen. Bleihaltige Gläser weisen hohe Lichtbrechung auf und eignen sich bekanntlich daher besonders für die Verzierung durch Schliff.

Borosilicatgläser
Borsäurehaltige Silicatgläser werden zur dritten Gruppe zusammengefasst, dem Borosilicatglas. Es weist einen höheren Anteil von SiO_2 auf als die beiden vorhergehenden Glastypen, nämlich 70 bis 80%. 7 bis 13% entfallen auf Bortrioxid (B_2O_3). 4 bis 8% auf Na_2O und K_2O sowie 2 bis 7% auf Aluminiumoxid (Al_2O_3). Gläser mit einer solchen Zusammensetzung besitzen eine hohe Beständigkeit gegen chemische Einwirkungen und Temperaturunterschiede. Daher finden sie vornehmlich für Produktionsanlagen aus Glas in der chemischen Industrie, in Laboratorien, als Ampullen und Fläschchen, in der pharmazeutischen Industrie zur Verpackung von Injektionsmitteln oder als hochbelastbare Glühlampengläser Verwendung. Aber auch im Haushalt, als feuerfestes Geschirr, findet dieses Glas Verwendung.

Die Familie der Borosilicatgläser ist äusserst umfangreich, da die für die Glasschmelze geeigneten Borverbindungen mit anderen Metallverbindungen kombiniert werden können. Die meisten dieser Gläser sind deshalb bereits den Spezialgläsern zuzurechnen.

Spezialgläser
Die für besondere technische und wissenschaftliche Zwecke bestimmten Gläser bilden eine gemischte Gruppe. Ihre Zusammensetzung ist sehr unterschiedlich und umfasst zahlreiche chemische Elemente. Hierher gehören unter anderem die optischen Gläser, ferner Gläser für Elektrotechnik und Elektronik sowie die Glaskeramiken.

Neues Glasmuseum Bärnbach, Architekt Klaus Kada, Graz/Leibnitz.

Rohstoffe

Wenden wir uns nun im einzelnen den Rohstoffen zu.

Sand

Sand ist der wichtigste Rohstoff für Glas. Fast die Hälfte der festen Erdoberfläche besteht aus Siliziumdioxid (SiO_2), dem Hauptbestandteil der Sande und Gesteine. Der Grossteil der Sande ist für die Glaserzeugung nicht rein genug, da er färbende Oxide, insbesondere Eisenoxid, enthält. Bereits Anteile von ab 0,1 % Fe_2O_3 machen Sand für anspruchsvolle Zwecke unbrauchbar, da er das Glas deutlich grün färbt. Auf der anderen Seite sind Sande mit 0,01 bis 0,03 % Fe_2O_3, die zur Herstellung auch technischer Spezialgläser verwendet werden können, relativ selten. Für die Schmelze optischer Gläser muss der Anteil des Eisenoxides sogar unter 0,001 % betragen. Die Gehalte anderer färbender Oxide, wie derjenigen von Chrom, Kupfer, Nickel, Kobalt und anderer störender Verunreinigungen, müssen für optische Quarzsande noch wesentlich niedriger sein. Man findet über die ganze Erdoberfläche verstreut nur ganz wenige Vorkommen, die diesen Anforderungen genügen. Für diese höchsten Ansprüche unterzieht man das gebrochene Material einer zusätzlichen chemischen Reinigung, etwa mit geeigneten Säuren durch Einwirkung bei erhöhter Temperatur. Die Korngrösse des Sandes soll zweckmässig zwischen 0,1 und 0,4 mm liegen.

Um die hohen Schmelztemperaturen von Sand (über 1700 °C) herabzusetzen und geeignete Schmelzgefässe verwenden zu können, benötigt man Flussmittel, heute insbesondere Natriumoxid. Dieses wird meist als Karbonat (Soda), teilweise auch als Nitrat oder Sulfat eingelegt. Fast unbegrenzt findet man die Alkalimetalle an Halogen gebunden, meist als Natriumchlorid (Kochsalz). Eine Glasherstellung in industriellem Umfang konnte daher beginnen, als es gelungen war, das Alkalihalogenid grosstechnisch umzuwandeln in oxidisch gebundenes Natrium, zuerst durch das Le-Blanc- und später durch das Solvay-Verfahren zur Sodagewinnung.

Soda

Soda, oder Natriumkarbonat (Na_2CO_3), wird als kalzinierte Soda dem Glasgemenge beigesetzt. Das Natron der Soda geht während der Schmelze in das Glas ein, die Kohlensäure wird frei und verflüchtigt sich durch den Schornstein.

Glaubersalz

Glaubersalz, oder Natriumsulfat (Na_2SO_4), kann, in wasserfreier Form mit zerkleinerter Kohle vermischt, dem Gemenge beigegeben, anstelle von Soda verwendet werden. Die schwefelige Säure wird dabei allerdings frei, das Natron geht wie bei der Soda in die Schmelze ein.

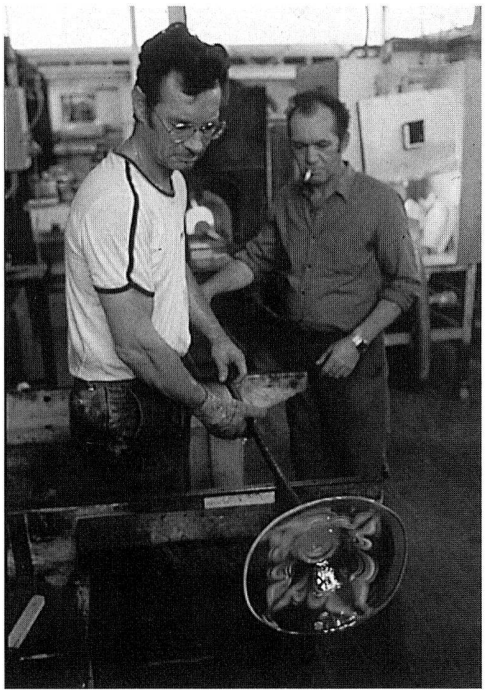
Pottasche
Pottasche, oder Kaliumkarbonat (K_2CO_3), wurde früher durch Auslaugen von Holzasche (wenn möglich aus Buchen oder Eichen) in grossen Gefässen (Pötten) gewonnen. Die heutige industrielle Gewinnung erfolgt aus Kaliumsulfat. In der Schmelze zerfällt die Pottasche in Kalium, das als Oxid ins Glas eingeht, und Kohlensäure, die durch den Schornstein entweicht. Pottasche ergibt ein reines, farbloses Glas, wenn färbende Metalle fehlen.

Eine Reihe von Oxiden mehrwertiger Metalle verleihen als Zusatz zur Glasschmelze dem fertigen Glas als Stabilisatoren zur Erhöhung der Beständigkeit, Festigkeit und Härte physikalische und chemische Eigenschaften, die für seine Verwendung entscheidend wichtig sind. Dabei spielen die Oxide des Kalziums (CaO), Magnesiums (MgO), Aluminiums (Al_2O_3) und Zinks (ZnO) sowie insbesondere das Bortrioxid (B_2O_3) eine wesentliche Rolle. Auch ein Zusatz von K_2O anstelle von Na_2O macht die Gläser chemisch resistenter.

Kalk
Dem Kalk, oder Kalziumkarbonat ($CaCO_3$), zumeist als Kalkstein beigefügt, entweicht bei etwa 1000 °C die Kohlensäure. Das übriggebliebene Kalziumoxid geht in das Glas ein und verbessert die Härte und chemische Beständigkeit. Im Flachglas wird der Kalk zum Teil durch Magnesiumoxid ersetzt, das im Rohstoff Dolomit ($CaCO_3 + MgCO_3$) mit Kalk verbunden ist und die Schmelztemperatur erniedrigt.

Tonerde
Tonerde (Aluminiumoxid, Al_2O_3) wird meist in Form der weitverbreiteten alkalihaltigen Feldspate in das Gemenge eingeführt. Das 3wertige Aluminium bildet in der Glasschmelze AlO_4-Gruppen, die sich unter Einschluss eines Alkaliions in das Netzwerk der SiO_4-Tetraeder eingliedern und dabei Trennstellen beseitigen. Dies führt neben verbesserter chemischer Resistenz auch zu einer erhöhten Zähigkeit in tieferen Temperaturbereichen.

Bleioxide
Zur Einführung von Blei in das Glas werden hauptsächlich die Oxide Bleiglätte (PbO) und Mennige (Pb_3O_4) verwendet. Mässige Zusätze von PbO erhöhen die Beständigkeit, höherer Bleigehalt erniedrigt die Schmelztemperatur und führt zu geringerer Härte, aber höherer Lichtbrechzahl des Glases, die Brillanz verleiht.


Glasmachen (Glasmacher Weninger, Bärnbach/Steiermark).

Bariumoxid
Bariumoxid wird als Witherit ($BaCO_3$) hauptsächlich in optischen Gläsern und in Kristallglas anstelle von Kalk bzw. Mennige eingesetzt. Bariumhaltiges Glas ist leichter als Bleikristall, erreicht aber annähernd dessen Glanz.

Borverbindungen
Das für Spezialgläser besonders wichtige Bortrioxid (B_2O_3) kommt in der Natur nur an sehr wenigen Stellen vor, häufiger dagegen Natrium- und Kalziumborat. Im allgemeinen müssen daher diese Verbindungen erst chemisch zur reinen Borsäure aufbereitet werden, insbesondere für optisches Glas.

Färbungsmittel
Als Ausgangsstoffe zur Färbung von Glas werden nur reine Chemikalien verwendet. Verschiedenartige Färbungen erzielt man durch den Zusatz von Verbindungen der sogenannten Nebengruppenelemente (Kupfer, Chrom, Mangan, Eisen, Kobalt, Nickel, Vanadium, Titan) oder von Seltenen Erden (hauptsächlich Neodym und

Praseodym) zu geeigneten Grundglasschmelzen. Intensiv gelbe, orange und rote Färbungen werden durch Ausscheidung von Edelmetallkolloiden sowie von Selen, Kadmiumsulfid und -selenid beim Abkühlen der Schmelze oder durch nachträgliche Wärmebehandlung erzeugt. Mittels Kombination der Oxide von Mn, Fe, Ni und CO erhält man braune und graue Färbungen.

Nachträglich können auch farblose Gläser an der Oberfläche bei 400 bis 600 Grad C durch Farbbeizen, besonders Silberbeizen, gelb bis rotbraun gefärbt werden.

Trübungsmittel
Bei Zumischung von fluorhaltigen Stoffen, wie z. B. Flussspat (CaF_2), setzen sich in der Glasmasse feinste kristalline Teilchen ab, die das Glas trüben und undurchsichtig machen. Solche Gläser spielen als Opal-Wirtschaftsglas sowie als Opak- oder Milchglas im Bauwesen und als Opalüberfang im Beleuchtungsglas eine Rolle.

Glasscherben
Obwohl Glasscherben strenggenommen kein Rohstoff sind, dürfen sie als Zuschlag in der Schmelze nicht fehlen: Sie wirken wie Flussmittel und beschleunigen daher das Flüssigwerden des Sandes, wodurch Energie und Rohstoffe eingespart werden. Beträgt der Scherbenanteil bei der Herstellung von Verpackungsglas 25%, werden 5% weniger Heizenergie gebraucht.

Das Gemenge
Das Rezept, nach dem die einzelnen Rohstoffe in bestimmten Mengen für die erwünschte Glasart zusammengestellt werden, heisst Glassatz. Ist der Glassatz in allen Einzelheiten sorgfältig zusammengestellt, gut vermischt und zur Schmelze bereit, spricht man vom Gemenge. Alle Rohstoffe werden in den Glashütten einer eingehenden analytischen Kontrolle unterzogen, Schwankungen durch Einwaagen ausgeglichen. Durch den Einsatz der elektronischen Programmierung ist die Gemengezusammenstellung in modernen Betrieben voll automatisiert. Um einer Entmischung bis zum Gebrauch bei der Schmelze vorzubeugen, hat das Gemenge einen Feuchtigkeitsgehalt von 2 bis 4%.

Die Schmelze

Die Schmelze ist die zentrale Phase der Glaserzeugung. Unter hohen Temperaturen vereinigen sich die einzelnen Rohstoffe zu **flüssigem Glas.** Die Beschaffenheit des verwendeten Schmelzaggregates, die Art der Heizenergie und der Verlauf des Schmelzprozesses sind auf die jeweilige Glasart und das Produkt, das angestrebt ist, abgestimmt. Die Entnahme des geschmolzenen Glases aus dem Ofen zur Verarbeitung und die Kühlung der fertigen Erzeugnisse sind Etappen, die sich an den Schmelzvorgang anschliessen. Das aus der Schmelze entnommene Glas wird unmittelbar darauf ausgeformt. Das kann auf unterschiedliche Weise erfolgen, als Blasen (händisch oder maschinell), besonders bei Hohlglas, als Giessen (zum Beispiel bei optischen Geräten), als Walzen (bei Flachglas), auch vor der Flamme. So unterschiedlich die Zusammensetzung des Glases und seine Ausformung sind, so vielfältig sind seine Verwendungsmöglichkeiten: zur Verpackung und für den Tisch, für optische und technische Geräte, als Fenster, Bauglas, Glasfaserkabel und Schmuck.

Der Mensch kennt Glas seit etwa 7 Jahrtausenden. Um 3000 v. Chr. begannen ägyptische Glasmacher Schmuckstücke herzustellen. Aber erst um das Jahr 200 v. Chr. wurde die Glasmacherpfeife verwendet. Heute lässt sich Glas in der Vielfalt seiner Verwendungsmöglichkeiten nicht mehr wegdenken, eben nicht nur, um als künstlerisches Objekt Freude zu spenden, sondern auch im Alltag, in Wissenschaft und Technik. ■