

Sigmar Spauszus Das wunderbare Glas



Regenbogenreihe

Sigmar Spauszus

Das wunderbare Glas

Geschichte und Zukunft
eines vielseitigen Werkstoffs

Der Kinderbuchverlag Berlin



Illustrationen von Rudolf Schultz-Debowski

Tödliches Glas

Pietro de Vetro hatte Angst, ganz erbärmliche Angst. Vor einer Woche, genau am 10. September 1554, hatte er vor der Tür seiner Kammer ein Schreiben gefunden. Darin war er aufgefordert worden, binnen einer Woche die Rückreise nach Venedig anzutreten. Anderenfalls würde er nicht lange am Leben bleiben. Der Absender des Schreibens war der Hohe Rat der Stadt Venedig. Seit dieser Zeit verließ Pietro de Vetro die Herberge nur noch tagsüber für kurze Zeit.

Hatte er richtig gehandelt, als er Venedig vor vier Wochen unerlaubt verließ?

Sein Weg hatte ihn zunächst nach Wien geführt, wo er Unterschlupf suchte. Herberge fand er in der kaum bekannten Kreuzgasse, es war eine spärlich eingerichtete Kammer. Immer wieder glitten Pietros Gedanken in die Vergangenheit, plagten ihn Erinnerungen.

Als Glasmacher war es ihm in seiner Heimatstadt Venedig recht gut gegangen. Er besaß ein kleines Vermögen. Vor zwei Jahren war er wie zuvor viele seiner Zunftgenossen in den Adelsstand erhoben worden.

Die Ratsherren Venedigs wußten um den Wert der Glaskünstler, die auf der der Stadt vorgelagerten Laguneninsel Murano ihre Öfen und Werkstätten besaßen. Hier wurde wasserhelles Kristallglas geschmolzen und zu kostbaren Kelchen, Schalen, Pokalen und Vasen geformt und kunstvoll mit feinem gläsernem Zierat geschmückt. Noch wertvoller war das Filigranglas, das man nur in Venedig herzustellen und zu verarbeiten verstand. Es wurde an den Fürstenhöfen der Welt mit purem Gold aufgewogen.

Er, Pietro de Vetro, war auf diesem Gebiet ein Meister. Er beherrschte wie nur wenige die Kunst, wasserhelles Glas mit milchig-weißen Fäden zu versehen, die eine Schale oder einen Kelch mit zartem und vielfältig gestaltetem Netzwerk zierten.

Diese Kunstfertigkeiten wurden von den Herrschenden des mächtigen und reichen Stadtstaates Venedig, von den Patriziern, anerkannt und gewürdigt. Den Glaskünstlern ging es gut, viel besser als allen anderen Handwerkern. Sie waren den Patriziern gleichgestellt, hatten ihre eigenen Richter und einen Vertreter im Hohen Rat des Stadtstaates. Doch war der Preis für die zahlreichen Vorrechte sehr hoch.

Kein Glasmacher durfte die Grenzen Venedigs überschreiten, damit er nicht in Versuchung kam, das Geheimnis über die Herstellung der kostbaren Gläser zu verraten und an anderer Stelle deren Anfertigung zu ermöglichen. Man wachte sehr aufmerksam über die Einhaltung dieses Gebots. Vor zwei Jahren hatten dennoch zwei junge Glasmacher, Bekannte des Pietro de Vetro, die Flucht gewagt. Sofort waren ihre in der Stadt zurückgebliebenen Eltern gefangengenommen und in die düsteren Verliese des Kerkers geworfen worden. Es hieß später, die beiden Flüchtigen wären bald danach von Agenten des Hohen Rates im nahen Florenz aufgespürt und getötet worden.

Die günstige Lage am Adriatischen Meer und die vielfältigen Handelsbeziehungen, besonders zu den Ländern des Ostens, hatten bereits seit dem 11. Jahrhundert Venedig zu einem reichen und mächtigen Stadtstaat werden lassen. Zwar hatte es schon seit jener Zeit auf

der Laguneninsel Murano Glashütten gegeben, doch spielten die Erzeugnisse der dort arbeitenden Glasmacher noch nicht eine so große Rolle, wie es seit dem 16. Jahrhundert der Fall war. Die Zentren der Glasherstellung und künstlerischen Glasverarbeitung lagen in Byzanz und in Syrien. Während der Kreuzzüge hatten venezianische Ritter Glashütten des Ostens kennengelernt und auch einige griechische Glaskünstler aus Byzanz mehr oder weniger freiwillig nach Venedig gebracht. Doch nach wie vor war die Konkurrenz der östlichen Länder zu groß. Als sich aber gegen Ende des 15. Jahrhunderts das Kriegsglück der Kreuzfahrer wendete, die Türken Konstantinopel eroberten und das ehemals mächtige byzantinische Reich zerstörten, flohen die dort lebenden Glasbläser nach Venedig. Dort nahm man sie mit offenen Armen auf und siedelte sie auf der Laguneninsel Murano an. Hier waren die Glasmacher leicht zu beaufsichtigen. Ihre Kunst entwickelte sich – geschützt, gefördert und bewacht – zu einer später nicht mehr erreichten Blüte weiter. Doch die Glasmacher befanden sich in einem goldenen Käfig. Venedigs Herrscher unterbanden jeden Fluchtversuch auf grausamste Weise, um die Vormacht und damit den Gewinn auf dem Gebiet der Glasherstellung für sich zu beanspruchen.

Vor einigen Monaten hatte Pietro de Vetro den böhmischen Händler Volavka in einer Taverne beim Wein kennengelernt. Volavka berichtete von den hohen Preisen, die man an den Fürstenhöfen in Böhmen für venezianische Glasgefäße zahlte, ein Vielfaches von dem,

was man den Glaskünstlern auf Murano für ihre Erzeugnisse gab.

Pietro hatte sehr aufmerksam zugehört. Er dachte lange nach. Wenn er Venedig heimlich verließ, um vielleicht in Böhmen an einem versteckten Ort eine Glashütte zu betreiben, käme er sehr bald zu großem Reichtum. Er würde dort Gefäße aus Filigranglas herstellen, die er dann als venezianisches Glas verkaufen könnte. Vielleicht würde man ihn auch an einen Fürstenhof holen und ihm dort Arbeit und Schutz bieten. Er besaß keine Angehörigen, die man in Venedig in den Kerker werfen könnte. Und wie sollte man ihn in Böhmen ausfindig machen. Eventuell war es nur ein vom Hohen Rat Venedigs bewußt unter den Glasmachern verbreitetes Gerede, daß man vor zwei Jahren die beiden Geflüchteten in Florenz getötet habe, um zukünftig ähnliches zu vermeiden. So hatte Pietro de Vetro seine Bedenken zerstreut.

Schließlich hatte er Venedig verkleidet verlassen und zunächst in Wien haltgemacht. Von hier aus wollte er nach günstigen Möglichkeiten für den Kauf oder Aufbau einer kleinen Glashütte suchen.

Alles war bisher gut verlaufen. Bis vor einigen Tagen der Brief vor seiner Kammer lag. Man hatte ihn aufgespürt und würde nun alles versuchen, um das Geheimnis des venezianischen Glases zu bewahren.

Pietro de Vetro wußte, daß er nun nicht mehr den Häschern des Hohen Rates entgehen würde. Ängstlich versteckte er sich in seiner Kammer, schloß sich ein und

Der Tod des aus Venedig geflüchteten Glasmachers Pietro de Vetro



gewährte nur dem Wirt Zutritt, wenn dieser ihm Essen und Getränke brachte.

Es klopfte an der Tür. Pietro zuckte zusammen, doch beruhigte ihn die Stimme des Wirtes. Er schob den Riegel zurück und öffnete die Tür. Unterwürfig die-nernd trat der Wirt ein und brachte das Abendmahl und einen Krug Wein. Pietro de Vetros Kehle war wie ausgedörrt. Rasch füllte er den Becher und leerte ihn in hastigen Zügen. Schmeckte der Wein nicht etwas anders als sonst? Beobachtete ihn der Wirt nicht besonders aufmerksam? Doch bevor Pietro begriff, verspürte er ein heftiges Brennen im Mund, das sich schnell auf den Magen ausbreitete. Es war, als ob ihm jemand die Kehle zudrückte. Mühsam holte er Atem. Mit schweißbedeckter Stirn versuchte er, die Tür zu erreichen. Die wenigen Möbel in der Kammer erschienen ihm nebelhaft verschwommen. Die Beine versagten ihm den Dienst, und er schlug dumpf auf die Dielen auf. Leise öffnete sich die Tür. Ein unauffällig gekleideter Mann trat vorsichtig ein, beugte sich über den am Boden Liegenden und griff nach dessen Hand. Der Wirt verharrte an der Tür.

„Er ist tot“, sagte der Fremde, während er sich aufrichtete. „Kein Mensch wird jemals erfahren, daß Ihr ihm mein Gift in den Wein geschüttet habt. Hier sind die versprochenen 20 Goldstücke.“ Der Fremde warf dem Wirt einen kleinen Lederbeutel zu.

Glas in der Geschichte

Der Ursprung des von Menschenhand gefertigten Glases ist in Dunkel gehüllt. Wir wissen aber, daß Glas

bereits seit sehr langer Zeit bekannt ist. Glas wurde in ägyptischen Pharaonengräbern, die bis zu 5 000 Jahre alt sind, gefunden. Kleine farbige Glaskugeln stellten sicherlich mal einen kostbaren Schmuck dar. Sie waren den königlichen Toten neben anderen Schätzen mit ins Grab gelegt worden.

Vielleicht konnten die Ägypter oder andere Völker sogar noch früher Glas herstellen. Wir wissen es nicht. Auf jeden Fall mußten zur Glasherstellung bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Einmal brauchte man zum Schmelzen ein ausreichend heißes Feuer, wie es trockene und harzreiche Hölzer geben. Dann mußten die Ausgangsstoffe Sand (Siliziumdioxid SiO_2), Kalkstein (Kalziumkarbonat CaCO_3) und Soda (Natriumkarbonat Na_2CO_3) zur Verfügung stehen. Dies war in Ägypten und in den weiter östlich gelegenen Gebieten der Fall, wo es in den Wüsten ausgetrocknete Soda-seen gibt. So vermutet man nicht ohne Grund gerade hier den Ursprung der Glasmacherkunst.

Die Glasherstellung war gewiß eine Kunst, die nur wenige Eingeweihte beherrschten und als ein Geheimnis streng hüteten. Keilschrifttafeln und Papyrusrollen wurden gefunden, die über die Glasherstellung in verschlüsselter Sprache berichten, Rezepte und Vorschriften angeben.

Als man Hunderte Jahre später, vor etwa 3 500 Jahren, in Ägypten grob geformte Krüge herzustellen vermochte, war Glas noch immer eine Kostbarkeit, deren Besitz sich nur die Herrschenden leisten konnten. Auch sie verhinderten die Verbreitung dieser Kunst.

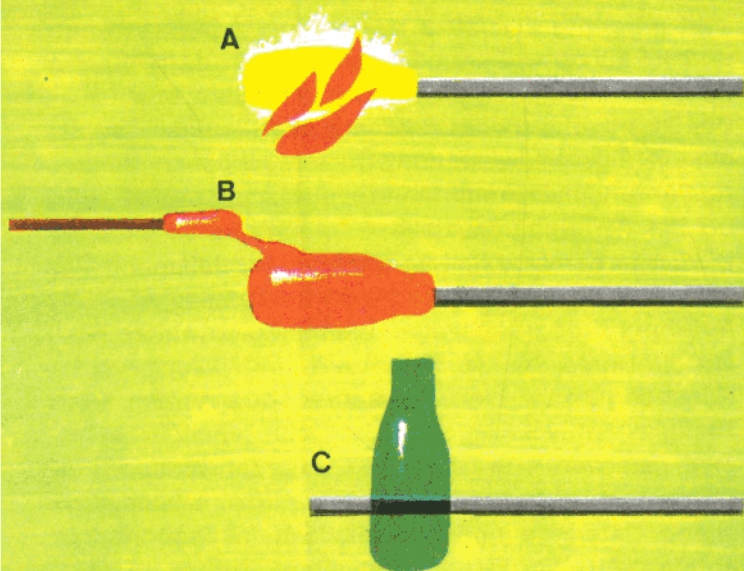
Die Fertigung von Hohlgefäßen aus Glas war sehr

dürftig. Das offene Feuer langte nur zur Herstellung einer sehr zähen Glasmasse aus Sand, Kalkstein und Soda, die zudem stark verunreinigt und voller Blasen war. Am Ende eines Metallstabes wurde ein länglicher Klumpen aus sandigem Ton geformt und im Feuer zu einer festen Masse gebrannt. Dann tauchte man diesen Sandkern als Form in die zähe Glasschmelze und verstrich diese gleichmäßig über die Form. Nach dem Erstarren des Glases entfernte man den Kern durch vorsichtiges Zerstoßen und erhielt Krüge, die zur Aufbewahrung kostbarer Flüssigkeiten dienten. Man lernte, Glas durch bestimmte Zusätze zu färben, und formte auf diese einfache Weise immer schönere Gefäße.

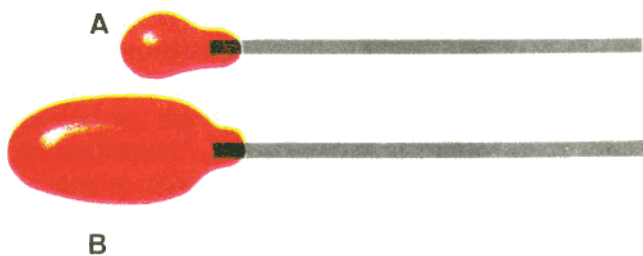
Von ganz entscheidender Bedeutung für die rasche Entwicklung der Glasherstellung war die Erfindung der Glasmacherpfeife um die Zeitenwende. Sie wird dem Volk der Phönizier zugeschrieben, das an der Ostküste des Mittelmeeres lebte. Die Glasmacherpfeife besteht aus einem eisernen Rohr von etwa einem Meter Länge mit einem Holzmundstück an dem einen und einer Verdickung an dem anderen Ende. Letzteres wurde einmal oder mehrfach in die Glasschmelze getaucht. Der daran haftende Klumpen wurde durch Lungenkraft aufgeblasen. Dabei drehte man die Glasmacherpfeife ständig um ihre Längsachse. Mit diesem Werkzeug war

Herstellung von Hohlgefäßen aus Glas nach der Sandkerntechnik und mit der Glasmacherpfeife. Sandkerntechnik: A Brennen des Sandkernes, B Überziehen mit Glasmasse, C Fertiggestelltes Glasgefäß. Glasmacherpfeife: A Glasmacherpfeife mit Glasklumpen, B Glasmacherpfeife mit geblasenem Hohlgefäß

Sandkerntechnik



Arbeit mit der Glasmacherpfeife



die Herstellung von dünnwandigen und auch kompliziert geformten Gefäßen mit weniger Arbeitsaufwand und in kürzerer Zeit möglich als nach der früheren Sandkerntechnik.

Die Glasmacherpfeife ist bis auf den heutigen Tag als ein wichtiges Arbeitsmittel erhalten geblieben. In ihrer Ausführung hat sie sich kaum verändert. Sie wird häufig bei der Fertigung spezieller Erzeugnisse, die sich nur in dieser handwerklichen Technik herstellen lassen, benutzt.

Auf ihren Eroberungszügen um die Zeitenwende lernten die Römer bei den Phöniziern und in Ägypten die Kunst der Glasherstellung kennen und brachten diese Fertigkeiten in ihr eigenes Land. Aus jener Zeit stammen viele wertvolle Funde an Glasgegenständen.

Durch Ausgießen der Glasschmelze auf eine flache und ebene Unterlage und anschließendem Breitdrücken entstanden erste Flachglasscheiben. Sie waren allerdings noch recht klein und wegen der schlechten Glasqualität nur wenig lichtdurchlässig. Doch verbesserte ihre Verwendung die Wohnbedingungen.

Die römischen Glasmacher entwickelten die Schmelztechnik weiter. Anstelle des offenen Feuers in einer Grube schmolzen sie das Glas in gemauerten Öfen, die meist aus drei voneinander abgegrenzten Kammern bestanden. Man erreichte dadurch höhere Temperaturen. Die Glasschmelze war deshalb weniger zäh und ließ sich so besser mit der Glasmacherpfeife formen. Das war ein weiterer Fortschritt in der Entwicklung der Glasherstellung. Doch auch jetzt mußte die Schmelze in zwei Arbeitsgängen hergestellt werden. In der ersten

Kammer wurde in Tonhöfen das Rohstoffgemenge grob zusammengeschmolzen. Man erhielt die Fritte, die man zerkleinerte und von nicht eingeschmolzenen Resten säuberte. Sie wurde dann in der heißesten Ofenkammer zum eigentlichen Glas geschmolzen. Durch an der Seite des Ofens angebrachte Öffnungen entnahm man mit der Glasmacherpfeife aus den Höfen Glasschmelze und formte sie. Die noch heißen Gegenstände wurden in die dritte Kammer mit der niedrigsten Temperatur gestellt, wo sie langsam abkühlten. Eine allmähliche Kühlung ist notwendig, da sonst das Glas zerspringt.

Mit den römischen Heeren wurde die Glasmacherkunst in das mittlere und nördliche Europa gebracht. Glashütten entstanden in Gallien und am Rhein. In den ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung wurden hier herrlich geformte und verzierte Gefäße hergestellt, wie es verschiedene Funde beweisen.

Doch diese Fertigkeiten verkümmerten im Mittelalter (5. bis 15. Jahrhundert) wieder. Über viele Jahrhunderte hinweg spielte das Glas im Leben der Menschen in Europa eine recht untergeordnete Rolle. Nach dem Zusammenbruch des Römischen Reiches kam es auch zu einem kulturellen Niedergang. Fremde Völkerscharen verwüsteten häufig das Land. Zentrum der mittelalterlichen Feudalgesellschaft war das Dorf mit seinen leibeigenen und geknechteten Bauern. Handwerk und Kunst entfalteten sich unter diesen gesellschaftlichen Bedingungen nur wenig. Dagegen entwickelten sich Byzanz und Syrien unter dem Einfluß einer weltoffenen arabischen Kultur zu Mittelpunkten einer künstlerischen Glasgestaltung. Von hier aus und später über

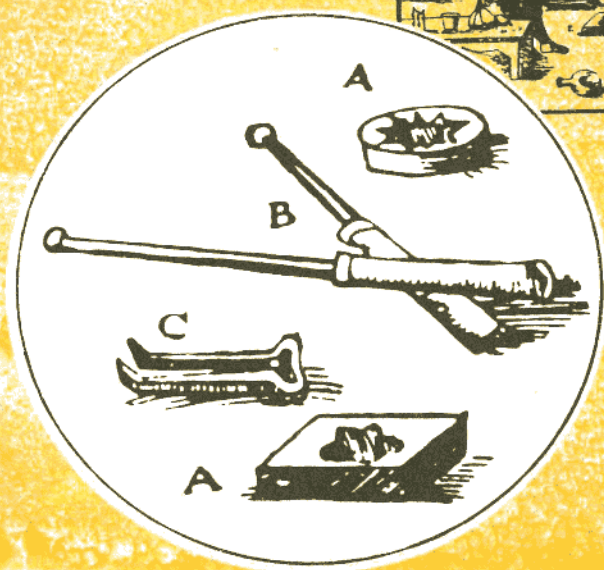
Venedig breiteten sich ab 1500 viele Glashütten über weite Teile Europas aus. Zu Zentren der Glasherstellung und -verarbeitung wurden die walddreichen Gebiete in Böhmen, Franken, Thüringen, Sachsen, Schlesien und Hessen. Das erstarkende Bürgertum und die anwachsenden Städte verlangten mehr Glasgefäße als Gebrauchs- und Schmuckgegenstände sowie Fensterscheiben. Der sich entwickelnde Handel sorgte für eine rasche Verteilung der Ware.

Dennoch änderte sich die Technik der Herstellung und Verarbeitung des Glases kaum. Maschinen und wissenschaftliche Erkenntnisse waren noch nicht vorhanden, und man verließ sich auf die überlieferten Erfahrungen. Nach wie vor waren die Glashütten auf viel Holz angewiesen. Es diente als Brennmaterial zur Erzeugung der hohen Schmelztemperaturen. Aus der Asche wurde durch Auslaugen in eisernen Gefäßen (Pöten) die Pottasche hergestellt, die anstelle der nicht vorhandenen Soda als Glasrohstoff unbedingt benötigt wurde. Deshalb war der Wald rings um eine Hütte nach einiger Zeit niedergeschlagen und verheizt. Dann verließ man meist die gewöhnlich nur wenig haltbar errichtete Hütte und baute an einer anderen Stelle des Waldes neu auf.

Die Schmelzöfen bestanden wie schon zur Römerzeit (um die Zeitenwende) aus drei getrennten Kammern. Die Verarbeitung der Schmelze erfolgte noch immer mit

Alte Glashütte. Oberes Bild: Aus dem Schmelzofen wird mit der Glasmacherpfeife Glasschmelze entnommen und verarbeitet. Unteres Bild: Geräte zur Glasverarbeitung

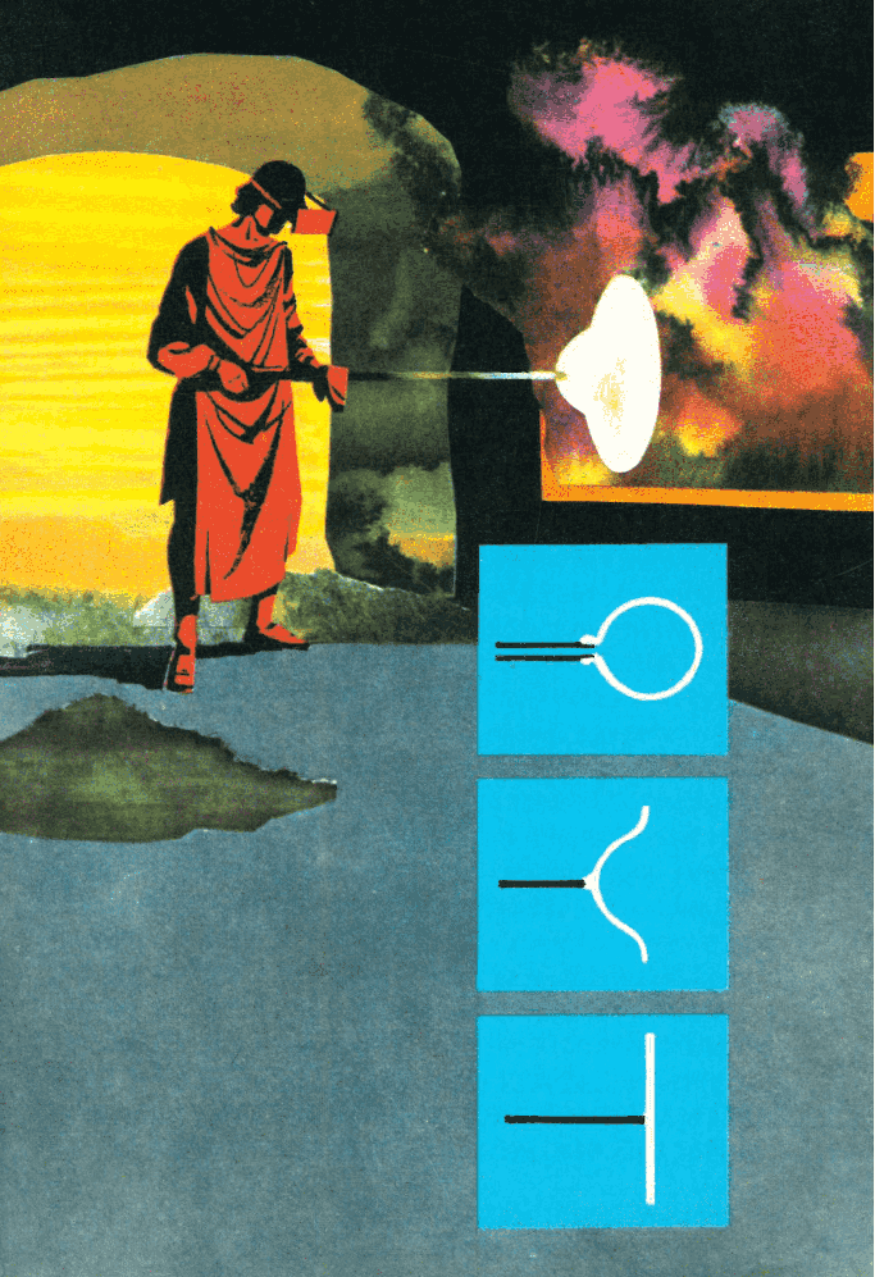
Glashütte des 16. Jahrhunderts



der Glasmacherpfeife. Beim Aufblasen des Glasklumpens zu einem Hohlkörper konnte auch eine Form aus Eisen oder Holz zu Hilfe genommen werden. Um den rohen Glaskörper von der Glasmacherpfeife abzulösen, mußte ein Gehilfe mit einem „Hefteisen“ etwas viskose (zähflüssige bzw. leimartige) Glasmasse an den Boden des schon erstarrten Glaskörpers bringen und ihn so an das Eisen anheften. Mit nassem Holz wurde dann das obere Ende von der Pfeife abgesprengt. Unter häufigem Wiedererwärmen und Erweichen wurde der am Hefteisen befestigte Glasgegenstand viskos gehalten und in seine endgültige Form gebracht. Dann wurde er vom Hefteisen abgelöst und in die dritte Kammer des Ofens zum langsamen Abkühlen gelegt. Auf diese Weise entstanden Becher, Pokale, Krüge und andere Hohlgefäße.

Die Glasmacherpfeife war unentbehrlich. Selbst für die Herstellung von Flachglas kam sie zur Anwendung. Zu diesem Zweck blies man einen großen, runden Glaskolben. Um daraus eine halbwegs flache Scheibe zu erhalten, wurde er wieder erhitzt, auf das Hefteisen übernommen und von der Pfeife abgetrennt. Nun wurde der Kolben auf einer ebenen Unterlage gewälzt und gedrückt, bis er eine flache Form angenommen hatte. Wieder wurde erhitzt und in die flache Unterseite ein kleines Loch geschnitten. Jetzt mußte der Glasmacher das Hefteisen mit dem daran befindlichen Glaskörper sehr schnell um die Längsachse drehen. Durch die nach außen gerichtete Fliehkraft (Zentrifugalkraft) wurde der

Herstellung von Flachglas mit der Glasmacherpfeife



weiche Kolben auseinandergezogen und formte sich schließlich zu einer flachen, runden Scheibe. Nach dem Absprengen vom Heftisen und dem Zuschneiden erhielt man eine Tafelglasplatte, die allerdings in der Qualität den heutigen Glasscheiben nachstand. Die Platte war teilweise uneben und im Mittelteil stärker als am Rande. Außerdem ließen sich auf diese Weise nur kleine Tafeln herstellen, weshalb auch die damaligen Fenster klein und vielfach unterteilt sein mußten. Wir können diese leicht gewölbten Butzenscheiben noch an sehr alten Häusern sehen.

Um 1700 blies man große walzenförmige Hohlkörper und trennte nach dem Erkalten beide Enden ab. Auf diese Weise erhielt man ein Stück Rohr mit einem großen Durchmesser. Es wurde in der Längsrichtung aufgeschnitten und nach erneutem Erhitzen auf einer ebenen Unterlage aufgerollt. Diese Scheiben waren größer und auch von gleichmäßiger Stärke.

Die Arbeit der Glasbläser war sehr schwer. Das Hantieren in unmittelbarer Nähe der heißen Öfen und das mühevollen Aufblasen mit Lungenkraft hatten früh Krankheit und Tod zur Folge. Oft besaßen die Glaskörper ein solches Gewicht, daß sie nur unter größter Kraftanstrengung des Arbeiters geformt werden konnten. Dies traf besonders bei der Herstellung von Flachglasscheiben zu.

Erst mit der raschen Entwicklung von Wissenschaft und Technik gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurden durchgreifende Veränderungen der Glasschmelztechnik möglich. Im Jahre 1891 entwickelten der Franzose Leblanc und wenig später der Belgier Solvay Verfahren

zur fabrikmäßigen Herstellung von Soda aus dem reichlich vorhandenen Kochsalz. Damit war man von der natürlich vorkommenden Soda oder der umständlich herzustellenden Pottasche aus Holzasche unabhängig. Anstelle von Holz trat Gas als saubere und wesentlich wirkungsvollere Wärmequelle. Die Schmelzöfen wurden weiterentwickelt und vergrößert. Sie ermöglichten so die Herstellung von mehr und besseren Glaserzeugnissen. Schließlich übernahmen mit Beginn unseres Jahrhunderts Maschinen die Formung der Schmelze. Mit Hilfe der Maschinen wurde in kurzer Zeit ein Vielfaches von dem hergestellt, was ein Glasbläser bei schwerster körperlicher Arbeit zu leisten imstande war.

Der Bedarf an Glas und Glaserzeugnissen konnte nunmehr gedeckt werden. Es war nicht mehr ein teurer Luxusartikel, sondern es wurde im Bauwesen, zur Verpackung oder in der Wissenschaft zum unentbehrlichen Werkstoff.

Aber auch heute, im Zeitalter von automatisch arbeitenden Maschinen, ist der Glasbläser nicht zu ersetzen. Die Herstellung von Gebrauchsgegenständen, von Massenartikeln, wird über Maschinen vorgenommen. Doch die Fertigung von Glasapparaten oder anderen speziellen und künstlerischen Erzeugnissen ist auf die handwerkliche Kunst der Glasbläser angewiesen. Mit bewunderungswürdigem Geschick formen sie vor der Gebläseflamme aus Rohren die feinsten und kompliziertesten Teile für Apparaturen oder hantieren scheinbar mühelos mit der langen Glasmacherpfeife vor der Schmelzwanne. Sie sind geachtete Spezialisten

in der Glashütte und werden nicht mehr wie früher ausgebeutet und durch die schwere körperliche Arbeit gesundheitlich ruiniert.

Ein Blick in das Glas

Jeder von uns kennt Glas. Wir können es beschreiben und nennen solche Eigenschaften wie lichtdurchlässig, spröde und hart, aber auch leicht zerbrechlich, unlöslich in Wasser und fast allen anderen Flüssigkeiten, schlechter Leiter für den elektrischen Strom und die Wärme.

Doch es gibt zahlreiche andere Stoffe, die wir nicht zum Glas zählen, obwohl auf sie alle oder einige der genannten Eigenschaften zutreffen. Außerdem gibt es Gläser, die ein sehr ungewöhnliches Verhalten zeigen. Sie sind beispielsweise völlig undurchsichtig, besitzen die Festigkeit von Stahl oder leiten den elektrischen Strom recht gut.

Mit einer Aufzählung der Eigenschaften zur Bezeichnung von Glas ist es also nicht getan. Wir wollen uns daher mit dem Feinbau, mit der Struktur der Stoffe befassen. Nur so lassen sich eindeutige Merkmale des Glases ermitteln, Gemeinsamkeiten mit anderen Stoffen und Unterschiede erkennen.

Da gibt es die große Gruppe der festen Stoffe, der Festkörper. Sie liegen in Form von Kristallen vor. Alle Metalle zählen dazu, Minerale und Gesteine, Salze und viele andere Stoffe. Sie sind aus kleinsten Bestandteilen aufgebaut, aus Atomen und Ionen. Diese kleinsten Bausteine liegen bei den Kristallen nicht regellos nebeneinander vor. Vielmehr sind sie geordnet, sowohl in

ihrer Art als auch in den Abständen zueinander. Sie bilden ein Raumgitter, das für jeden Kristall typisch ist. In einem Kochsalzkristall ist stets ein Chlorion einem Natriumion benachbart, so daß sich eine würfelförmige Anordnung ergibt. Ähnlich verhält es sich bei den anderen kristallisierten Festkörpern.

Anders sieht die Struktur der Flüssigkeiten aus, zu denen wir auch die geschmolzenen Festkörper zählen. Hier trifft man die strenge Ordnung nicht mehr an. Zwar besteht zwischen den einzelnen atomaren Bausteinen ein Zusammenhang, doch ist dieser wesentlich lockerer. So sind die Bindungen zwar noch so stark, daß man Flüssigkeiten in einem offenen Gefäß aufbewahren und sie durch Gießen umfüllen kann. Doch sind sie auch beweglich genug, um sich regellos zu gruppieren. Flüssigkeiten, oder die geschmolzenen Festkörper, bestehen also nicht aus Kristallgittern.

Bei den Gasen schließlich geht jeder Zusammenhalt mehr oder weniger vollständig verloren. Gase erfüllen sofort jeden zur Verfügung stehenden Raum und lassen sich nur in geschlossenen Gefäßen aufbewahren und transportieren.

Zur Verdeutlichung sei ein Vergleich angestellt. Während der Unterrichtsstunde sitzt jeder Schüler an seinem Platz. Es herrscht eine ausgesprochene Ordnung, wie es auch im Kristall der Fall ist.

Während der Pause sollen die Schüler im Raum bleiben, dürfen aber ihre Plätze verlassen und sich beliebig bewegen. Die Ordnung ist jetzt wesentlich geringer, allerdings bleiben die Schüler noch in dem zur Verfügung stehenden Klassenraum.

Erst nach Ende der Unterrichtszeit verlassen die Kinder den Raum und verteilen sich regellos über den ganzen Stadtteil. Wie bei den Gasen gibt es jetzt keine geordnete Verteilung mehr.

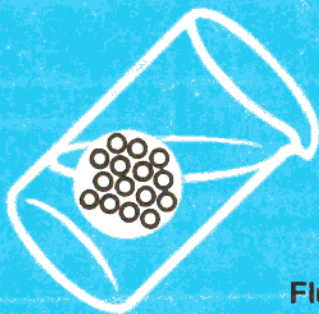
Wir wissen, daß sehr viele Stoffe in allen drei Zustandsformen (fest, flüssig, gasförmig), auch Aggregatzustände genannt, auftreten können. Vereinfacht gesagt hängt es lediglich von der Temperatur ab, ob beispielsweise Wasser als Eis (fest), als Wasser (flüssig) oder als Wasserdampf (gasförmig) vorliegt. Kühlen wir Wasser ab, so wird es (bereits bei einer Temperatur von 0 Grad Celsius) gefrieren. Es wird fest, geht vom ungeordneten Zustand der Flüssigkeit in den geordneten der Eiskristalle über. Umgekehrt wandelt sich Eis beim Erwärmen (ab 0 Grad Celsius) in Wasser um. Wasser oder Eis haben demnach – wie alle kristallisierten Festkörper – einen bestimmten Erstarrungs- oder Schmelzpunkt, bei dem der Wechsel von dem einen in den anderen Aggregatzustand stattfindet.

Bei Glas finden wir ein ganz anderes Verhalten. Wenn man Glas erwärmt, so wird es allmählich weich werden und läßt sich schließlich in diesem Zustand verformen. Bei weiterem Erhitzen wird das Glas immer weniger zäh und ähnelt in seinem Verhalten zunehmend einer Flüssigkeit. Schließlich läßt es sich sogar gießen. Umgekehrt verhält sich eine Glasschmelze beim Abkühlen. Sie wird immer zäher und ist schließlich so starr, wie wir es vom festen Glas her kennen.

Die drei Aggregatzustände und die Anordnung der atomaren Bausteine



Festkörper (Kristall)



Flüssigkeit



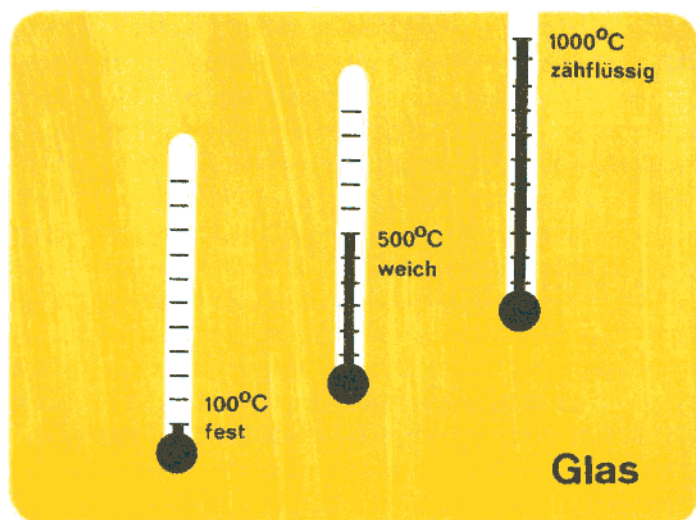
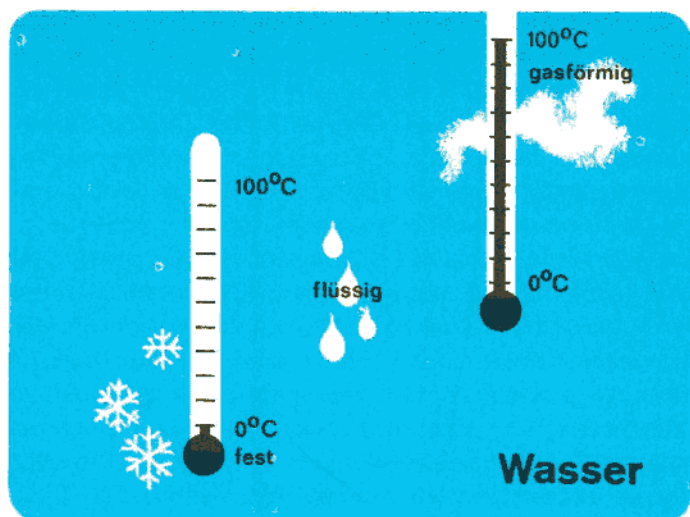
Gas

Glas besitzt also keinen Schmelzpunkt oder Erstarrungspunkt, an dem es von dem festen in den flüssigen Zustand oder umgekehrt übergeht, wie wir es beim Wasser kennengelernt haben.

Es ist gerade die schnell einsetzende und zunehmende Zähigkeit, die das Glas an einer möglichen Kristallisation hindert. Um Kristalle bilden zu können, müßten sich die regellos geordneten Bausteine des Glases bei der Schmelze entsprechend der Art des Kristallgitters ordnen und sich dabei auf bestimmte Plätze begeben. Das Glas wird aber so schnell zäh, daß sich die Bausteine nicht mehr zu einem Kristall gruppieren können. Die Kristallisation unterbleibt. Und damit kommen wir zu einer auf den ersten Blick erstaunlichen Feststellung: Glas im festen Zustand kann als eine Flüssigkeit angesehen werden, die sich selbst am Kristallisieren gehindert hat. Andere Wissenschaftler sprechen vom Glas als von einer unterkühlten Flüssigkeit. Die atomaren Bausteine haben kein Kristallgitter gebildet, sondern es herrscht die Unordnung, wie sie bei einer Flüssigkeit vorzufinden ist.

Dieses Verhalten der Gläser beim Erhitzen oder Abkühlen ist von großer Bedeutung bei der Verarbeitung. Das allmähliche Weichwerden des Glases beim Erwärmen wird genutzt, um es in diesem Zustand zu biegen, blasen, pressen oder walzen, also zu Gebrauchsgegenständen zu formen. Bei den ganz hohen Tempe-

Wasser und Glas verhalten sich beim Erhitzen unterschiedlich. Wasser besitzt einen Schmelzpunkt und einen Siedepunkt. Glas geht allmählich vom festen in den flüssigen Zustand über



peraturen läßt sich die Glasschmelze gießen, und das wird ebenfalls bei der Verarbeitung genutzt, um das Glas in Formen zu füllen.

Diese Eigenschaft von Glas wird als Zähigkeit oder Viskosität bezeichnet. Mit steigender Temperatur nimmt also die Viskosität ab, und bei sinkender Temperatur nimmt die Viskosität wieder zu.

Das durchsichtige Glas gab erst sehr spät seine Geheimnisse preis. Erst seit einigen Jahrzehnten ist eine Kenntnis des Aufbaus von Glas möglich geworden. Die atomaren Bausteine der Stoffe sind zu klein, als daß man sie auch mit den besten Mikroskopen sehen konnte. Erst als man entdeckte, die Röntgenstrahlen für Untersuchungen zu verwenden, konnte die Struktur des Glases festgestellt werden. Wir wissen, daß Röntgenstrahlen feste Stoffe durchdringen. (Diese Fähigkeit nutzen die Ärzte schon seit langer Zeit für ihre Untersuchungen des menschlichen Körpers.) In einer bestimmten Anordnung wird ein Kristall durchstrahlt. Auf einer fotografischen Platte oder einem Fotofilm sieht man nach dem Entwickeln ganz charakteristisch angeordnete Punkte oder Linien, die über den Aufbau des Kristalls aussagen. Die Röntgenstrahlen durchdringen den Kristall nicht unbeeinflußt, sondern werden durch die atomaren Bausteine in bestimmter Weise gebeugt und abgelenkt.

Die atomaren Bausteine eines Kristalls im Raumgitter sind regelmäßig angeordnet. Es kommt zu einer ganz bestimmten Ablenkung der Strahlen und damit zu einem entsprechenden Muster auf der Platte. Aus diesem läßt sich nicht nur entnehmen, daß es sich um

einen Kristall handelt, sondern man kann sogar Abstand und Anordnung der Atome bestimmen.

Bei den Flüssigkeiten ist keine durchgehende Ordnung der atomaren Bausteine vorhanden. Deshalb ist die Beugung und Ablenkung der Röntgenstrahlen beim Durchgang weitgehend regellos. Man findet auf der entwickelten Platte breite und verwaschene Streifen. Dies ist auch bei Gläsern der Fall und so der Beweis erbracht, daß die Struktur eines Glases der einer Flüssigkeit entspricht.

Glas unterscheidet sich von Kristallen gleicher Zusammensetzung durch eine unregelmäßige Anordnung der atomaren Baugruppen. Das soll am Beispiel des kristallinen Bergkristalls und des Kieselglases erläutert werden. Beide haben die gleiche chemische Zusammensetzung. Auf ein Atom Silizium kommen zwei Atome Sauerstoff. Der Chemiker spricht von Siliziumdioxid und gibt ihm die Formel SiO_2 . Das Siliziumdioxid kommt in der Natur in unerschöpflichen Mengen vor. Es ist der meist etwas verunreinigte Sand.

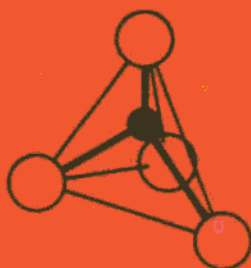
Reiner und in größeren Kristallen findet man das SiO_2 als Bergkristall oder Quarz. Man weiß heute auf Grund vieler sorgfältig ausgeführter Untersuchungen sehr genau, wie die Silizium- und Sauerstoffteilchen angeordnet sind. Ein jedes Siliziumatom umgibt sich mit vier Sauerstoffatomen, die dadurch die Ecken eines Tetraeders (Vierflächners) bilden. In der Mitte befindet sich das kleinere Siliziumatom. Diese aus Silizium und Sauerstoff gebildeten Tetraeder liegen nicht für sich allein vor, sondern sind miteinander über die Ecken, also über die Sauerstoffatome, verknüpft. Im Quarzkri-

stall treten die Tetraeder zu regelmäßig ausgebildeten Sechsecken zusammen. (Um die zeichnerische Darstellung übersichtlicher zu gestalten, sind jeweils nur drei der vier Sauerstoffatome gezeichnet. Man sieht gewissermaßen von oben auf das Tetraeder und muß sich das vierte Sauerstoffatom oberhalb oder unterhalb der Zeichenebene denken.) In dem Kristallgitter sind alle Abstände zwischen den atomaren Bausteinen gleich, wie wir es bereits erwartet haben.

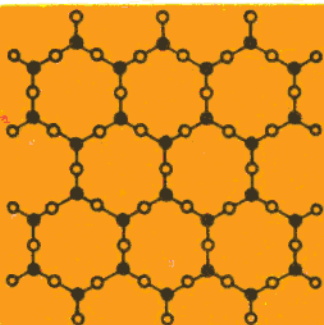
Anders ist es beim Kieselglas, das sich beim Erstarren einer SiO_2 -Schmelze bildet. Auch hier gibt es die Silizium-Sauerstoff-Tetraeder als Baueinheiten. Doch kommt es beim Erstarren nicht mehr zu der Ordnung, wie sie beim Quarz vorliegt. Die Verknüpfung über die Sauerstoffatome ist unregelmäßig. Es entstehen große und kleine Ringe. Das beim Quarz gleichmäßig gebaute Kristallgitter ist beim Kieselglas verzerrt, bildet ein unregelmäßiges Netzwerk mit unterschiedlichen Abständen zwischen den einzelnen Bausteinen.

Da die Bindungen zwischen Silizium und Sauerstoff sehr stark sind, ist das Gitter bzw. das Netzwerk recht beständig. Erst bei sehr hohen Temperaturen werden Bindungen aufgespalten. Je mehr Silizium-Sauerstoff-Bindungen gelöst werden, desto weniger fest ist das Netzwerk, was in einer Abnahme der Viskosität zu erkennen ist.

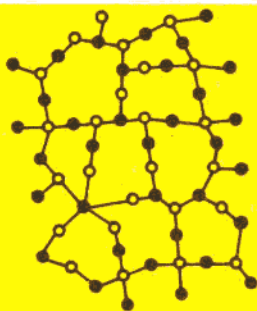
Siliziumatome und Sauerstoffatome bilden Tetraeder. In Kristallen treten die Tetraeder zu einem regelmäßigen Netzwerk zusammen (A), während sie in Glas ein unregelmäßiges und verzerrtes Netzwerk bilden (B)



○ Sauerstoff
● Silizium



A



B

Das Aufspalten der festen Bindungen im Kieselglasnetzwerk ist nicht nur durch Wärme möglich. Man kann andere Stoffe hinzufügen, die das Netzwerk lockern. Dies vermögen die sogenannten Netzwerkmodifizierer, von denen an dieser Stelle nur das Natriumoxid (Na_2O) genannt sein soll, das meist in Form von Soda (Na_2CO_3) dem Gemenge bei der Glasherstellung zugesetzt wird. Dadurch wird der hohe Erweichungspunkt des reinen Kieselglases wesentlich gesenkt. Es läßt sich also durch die Zugabe von Soda bei tieferen Temperaturen schmelzen. Das ist von großem Vorteil für die weitere Verarbeitung. Gibt man schließlich noch Kalk hinzu, so erhält man Gläser, die die bekannten guten Gebrauchseigenschaften zeigen. Besonders eignet sich dieses Glas zur Herstellung von Scheiben, Flaschen oder Rohren.

Zusammenfassend sei gesagt: Beim Glas handelt es sich um einen Stoff mit der Struktur einer eingefrorenen Flüssigkeit. Es ist eine besondere Zustandsform der Stoffe. Diese kommt durch die Bildung eines unregelmäßig gebauten Netzwerkes aus den atomaren Bausteinen zustande. Der wichtigste Netzwerkbildner ist das Siliziumdioxid SiO_2 , das in Form von Sand in Mengen zur Verfügung steht. Schmilzt man SiO_2 mit Netzwerkmodifizierern, zu denen Soda und Kalk gehören, so erhält man Glas, das zur Fertigung von vielen Artikeln des täglichen Bedarfs verwendet wird.

Die Geburt des Glases

Die Zeiten sind längst Vergangenheit, in denen die Glasherstellung eine Kunst war, die streng gehütet und

vom Vater auf den Sohn übertragen wurde. Zwar bedient man sich auch heute der Erfahrung von Arbeitern und Ingenieuren, doch ist die Wissenschaft einbezogen worden. Sie nimmt einen großen Platz ein, denn die Qualität des Glases, seine Herstellung und Anwendungsmöglichkeiten sollen immer mehr verbessert werden. Die primitiven Schmelzöfen früherer Jahrhunderte wurden durch große und leistungsfähige Glaswannen abgelöst, die mit Gas, Erdöl oder elektrischem Strom beheizt werden. Wissenschaftliche Erkenntnisse über den Schmelzablauf und vielfältige Meß- und Regelgeräte überlassen die Gemengebereitung bis zur Verarbeitung der Glasschmelze nicht mehr dem Zufall. So kann man heute bestimmte Bedingungen bei der Glaserzeugung festlegen und sie auch aufrechterhalten, um ständig ein Glas von hoher und gleichbleibender Qualität zu schmelzen.

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts setzt von England ausgehend eine sich bald über ganz Europa ausbreitende stürmische Entwicklung der Technik ein. Sie wird begünstigt durch die Erfindung der Dampfmaschine sowie der mechanischen Spinnmaschinen und Webstühle. Dadurch wird die bis dahin vorwiegend handwerkliche Produktion zunehmend in eine fabrikmäßige umgewandelt und außerordentlich gesteigert. Diese industrielle Revolution führt nicht nur zum Kapitalismus und zum Entstehen einer ausgebeuteten Arbeiterklasse, sie bringt auch bedeutende naturwissenschaftliche Erkenntnisse und technische Erfindungen hervor, die wiederum die industrielle Produktion vorantreiben. Dabei werden Werkstoffe mit neuen Eigen-

schaften und in immer größerer Menge benötigt. Handel und Verkehr, Bauwesen und wissenschaftlicher Gerätebau, Industrie und Haushalt verlangen mehr Glas. Die bisherigen Herstellungsverfahren können den Bedarf nicht mehr befriedigen. Das führt zur Anwendung der neuen Erkenntnisse und Entdeckungen von Wissenschaft und Technik.

Das Bild der Glashütte wandelt sich. Anfang des 19. Jahrhunderts gewinnt man Gas aus Steinkohle und setzt es wenig später zur Beheizung von Glasmelzöfen ein. Anstelle der schwerfälligen Hafenöfen wird um 1860 die ununterbrochen arbeitende Glaswanne entwickelt. Sie wird mit Anlagen zum Vorwärmen der zur Verbrennung benötigten Gase versehen. Die Herstellung des Glases wird von der Bereitung des Rohstoffgemenges bis zur Entnahme aus den Schmelzanlagen genau bestimmt und kontrolliert. Glas hilft bei der wissenschaftlichen Forschung (optische Geräte, wie Fernrohre, Mikroskope usw.). Bestimmte Vorstellungen von neuen Geräten können mit dem Glas verwirklicht werden. So werden mit Hilfe des Glases Fortschritte erzielt, indem neue Instrumente aus Glasteilen hergestellt werden. Die Möglichkeiten für die Herstellung, Verarbeitung und Anwendung von Glas werden dadurch immer mehr erweitert.

Die zur Herstellung des Glases benötigten Rohstoffe sind sehr zahlreich und werden für jeden Glastyp aufeinander abgestimmt. Die am häufigsten gebrauchten Gläser bestehen in der Hauptsache aus Siliziumdioxid, das als Sand an die Glaswerke geliefert wird. Um diesen Bestandteil des Glases braucht man sich keine

Sorgen zu machen, er ist so reichlich vorhanden wie „Sand am Meer“. Auch Kalk und Soda können in beliebigen Mengen zur Verfügung gestellt werden. Von der Rohstoffseite her ist also das Glas ein wenig aufwendiger Werkstoff, besonders für die Industriestaaten mit geringen Bodenschätzen. Aus diesem Grunde gewinnt der weitere Ausbau der Glasindustrie in unserer Republik eine große Bedeutung, und man unternimmt Anstrengungen, Glas überall dort einzusetzen, wo es möglich ist.

Spezielle Gläser benötigen allerdings noch andere Rohstoffe, etwa Verbindungen der Elemente Bor, Aluminium, Magnesium, Zink oder Blei, um nur einige zu nennen.

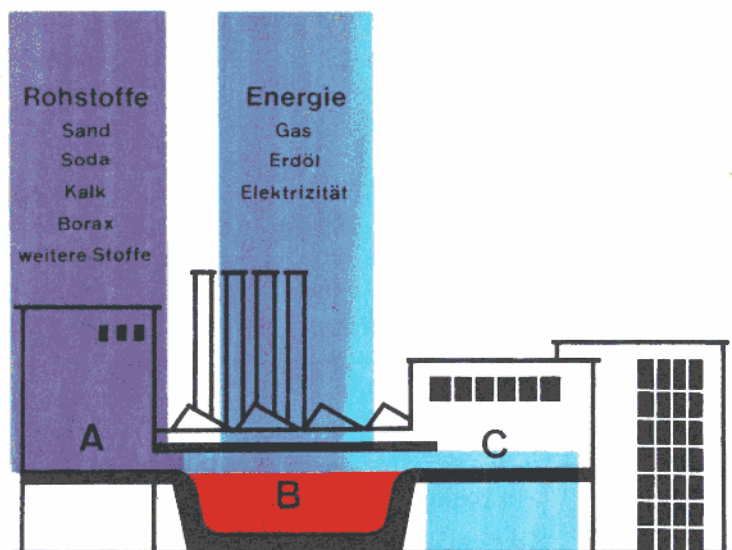
Aus den einzelnen Rohstoffen wird im Glaswerk das Gemenge bereitet. Zu diesem Zweck werden die Stoffe entsprechend der vorgesehenen Zusammensetzung des Glases abgewogen und in speziellen Mischern gründlich verteilt. Früher geschah dieses Mischen von Hand und erforderte angestrengte körperliche Arbeit. Der beim Mischen freigewordene feine Staub führte zu schweren Erkrankungen der Lunge und somit häufig zu frühem Tod der Glasarbeiter. Heute werden in den größeren Glaswerken alle Arbeitsgänge automatisch vorgenommen. Die Aufgabe der Arbeiter beschränkt sich im wesentlichen auf die richtige Einstellung und Kontrolle der Arbeitsgänge sowie auf die Wartung der Anlagen.

Die eigentliche Glasbildung erfolgt in den Schmelzanlagen, dem Herzstück eines Glaswerkes. Sie bestehen meist aus mehr oder weniger großen Wannen, die mit

Gas oder Erdöl, zunehmend auch mit elektrischem Strom beheizt werden. Bei Temperaturen zwischen 1000 und 1500 Grad Celsius kommt es zu den vielen komplizierten Umsetzungen der Gemengebestandteile. In deren Verlauf entsteht die Glasschmelze. Dabei werden Wasser und Gase abgespalten und ausgetrieben. Besonders die Gasbildung ist von Bedeutung. Durch die aufsteigenden Gasblasen wird die anfangs noch sehr ungleichmäßig zusammengesetzte Schmelze gründlich gemischt. Um die restlichen kleinen Blasen herauszutreiben, wird geläutert. Die Schmelze wird noch höher erhitzt. In geringen Mengen zugefügte Stoffe, sogenannte Läutermittel, zersetzen sich dann und bilden zusätzlich größere Blasen. Diese steigen nach oben und reißen die kleinen Blasen mit. Ist die Schmelze „blank“, also gründlich durchgemischt und frei von Blasen, so senkt man die Temperatur, bis eine Zähigkeit (Viskosität) erreicht ist, die für die sich anschließende Verarbeitung notwendig ist. Man läßt die Schmelze abstehen.

Das Schmelzen des Glases findet in dafür geschaffenen Anlagen statt. Lange Zeit dienten dazu große Tiegel, die Glashäfen. Sie werden auch heute noch eingesetzt, wo spezielle Gläser in kleinen Mengen erzeugt werden. Diese Glashäfen sind aus feuerfestem Ton und können bis zu 600 Liter fassen. Nach dem Füllen mit dem Gemenge stellt man sie in die Öfen, die mit Gas oder elektrischem Strom beheizt werden. Die Öfen können so

Aus Glasrohstoffen werden mit Energie vielfältige Erzeugnisse im Glaswerk hergestellt



Die Glashütte

A

Gemengehaus

B

Glaswanne

C

Verarbeitung

Glaserzeugnisse

Bauwesen

Elektrotechnik-Elektronik

Fahrzeugbau

Optik

Verpackung

Transportrohre

Wirtschaftsglas

Labor- und Medizintechnik

Chemieanlagen

groß sein, daß mehrere Häfen in ihnen Platz finden. Bei Temperaturen zwischen 1200 und 1500 Grad Celsius findet nacheinander das Einschmelzen des Gemenges, die Läuterung der Schmelze und das Abstehen statt. Ist nach vielen Stunden das Schmelzen beendet, werden die Häfen mit großen fahrbaren Greifern herausgeholt. Die Schmelze wird in Formen gegossen. Vielfach entnimmt man die zähflüssige Glasmasse durch Öffnungen in der Ofenwandung mit der Glasmacherpfeife. Durch Blasen wird sie verformt. Die Häfen halten den großen Beanspruchungen nicht lange stand und müssen dann durch neue ersetzt werden.

Die Herstellung optischer Gläser, die besonders rein sein müssen, erfolgt heute meist in Platintiegeln. Das Edelmetall Platin hat den Vorteil, sich nicht in der Glaschmelze aufzulösen, wie es bei den Tönhäfen nach einer gewissen Zeit der Beanspruchung unvermeidlich ist. Natürlich sind das seltene Platin oder seine Legierungen mit anderen Metallen sehr teuer. Solch ein Tiegel, der etwa 10 Liter fassen kann, kostet einige hunderttausend Mark. Die Beheizung erfolgt überwiegend durch den elektrischen Strom.

Der weitaus größte Teil des Glases wird in Wannenöfen erzeugt. Glaswannen gibt es in sehr unterschiedlicher Größe. Sie können bis zu 5 000 t Glasschmelze aufnehmen. Aus feuerfesten Schamottesteinen werden sie hergestellt. Innen kleidet man sie mit speziellen Steinen aus, die sich in der sehr heißen Glasmasse nur sehr wenig lösen. Dennoch wird das Wannenmaterial all-

Der Wannenofen dient zur Herstellung von Massengläsern

Wannenofen

Entnahmeöffnung

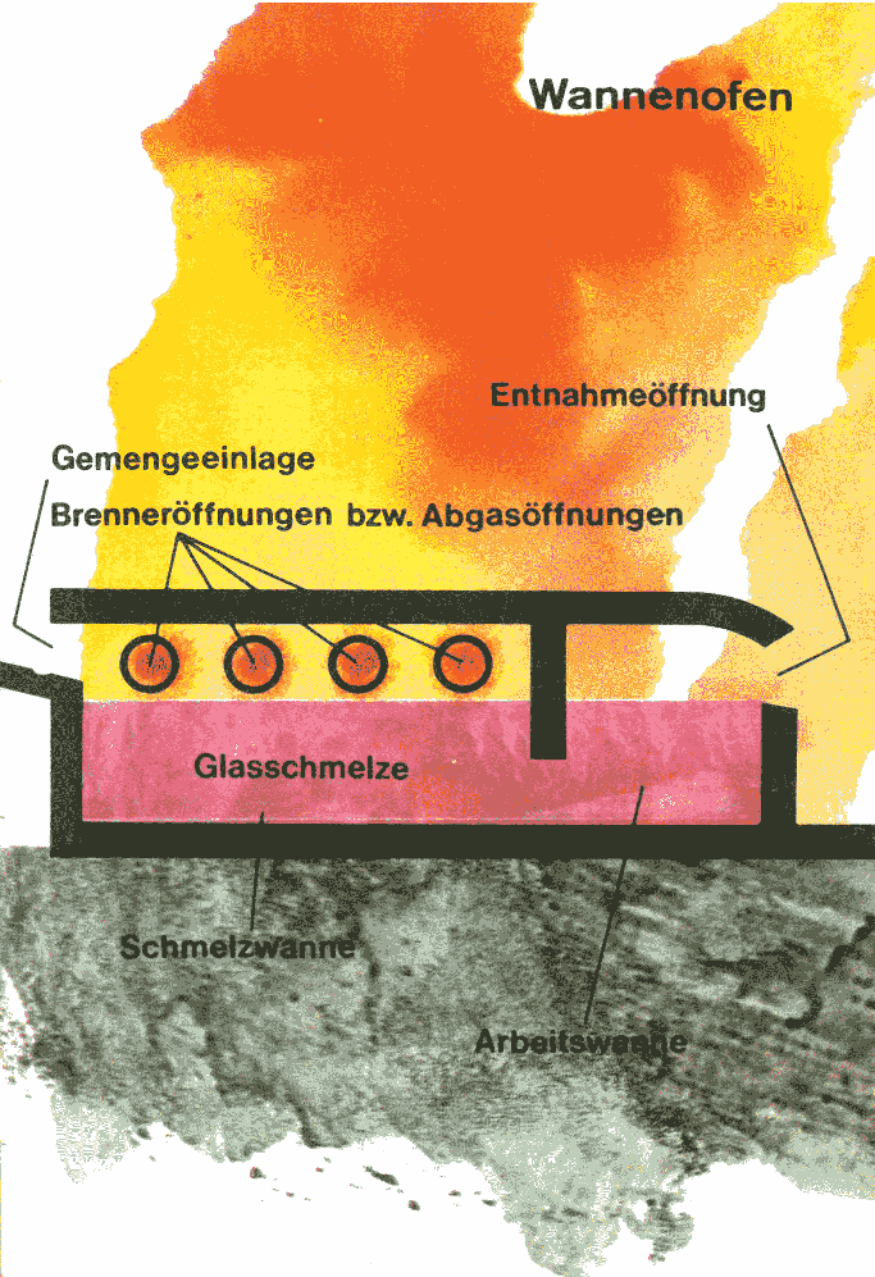
Gemengeeinlage

Brenneröffnungen bzw. Abgasöffnungen

Glasschmelze

Schmelzwanne

Arbeitswanne

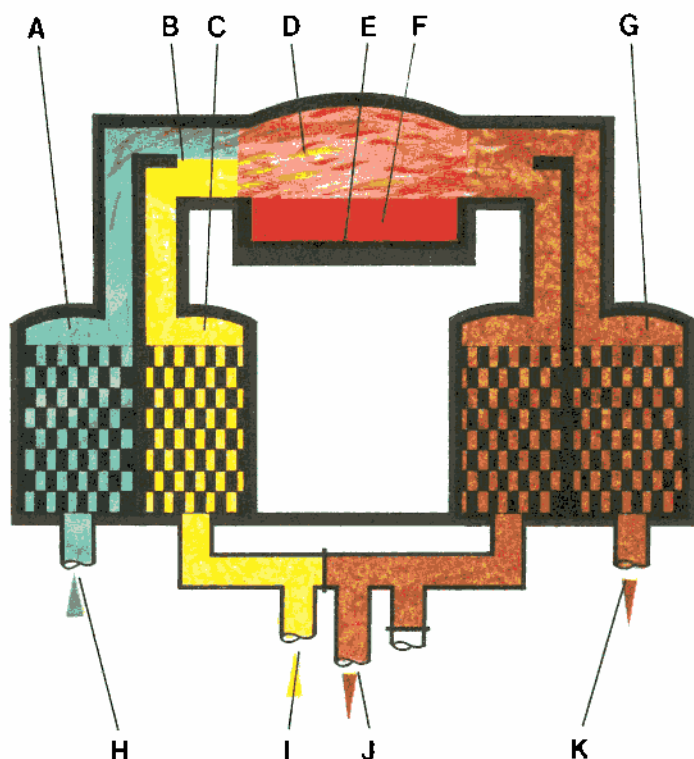


mählich angegriffen, so daß man eine Wanne in größeren Zeitabständen stillegen, abreißen und neu errichten muß.

Während im Hafen die einzelnen Vorgänge der Glasbildung nacheinander ablaufen, geschieht dies in der Wanne gleichzeitig und fortlaufend. Deshalb sind Wannen für die Erzeugung von Massenbedarfsartikeln aus Glas besonders geeignet. Die Wannen sind langgestreckt und in verschiedene Abschnitte unterteilt. Auf der einen Seite wird ständig das Gemenge eingebracht. Die vorgewärmten Gase treten durch Brenneröffnungen in die Wanne und verbrennen hier. Dabei entsteht viel Wärme. Die Gemengebestandteile beginnen zu schmelzen. Vom Schmelzabschnitt der Wanne gelangt das zähflüssige Glas in den Läuterteil, der sich etwa in der Wannenmitte befindet. Hier herrschen die höchsten Temperaturen, die das Läutern auslösen. Eine Brücke aus besonders feuerfestem Material trennt vom anschließenden Arbeitsteil ab. In diesen gelangt die Glaschmelze nach dem Läutern durch eine enge Öffnung, den Durchlaß. Der kleine Durchlaß verhindert, daß noch nicht völlig gelöste Gemengebestandteile in die Arbeitswanne gelangen. Nun kühlt die Schmelze bis zur Erreichung der notwendigen Zähigkeit ab und kann entnommen werden. Das geschieht entweder durch in der Wand befindliche Öffnungen mittels der Glasmacherpfeife oder über besondere Zuführungen durch Maschinen, die die Glasschmelze automatisch weiterverarbeiten.

Große Mengen Brennstoffe sind notwendig, um die für den Schmelzvorgang hohe Temperatur zu erzielen.

Wärmerückgewinnungsanlage



Wärmerückgewinnungsanlage bei einem Wannenofen. A Vorwärmkammer für Frischluft, B Brenner, C Vorwärmkammer für Frischgase, D Flamme, E Glasschmelzwanne, F Glasschmelze, G Kammern werden durch heiße Abgase erhitzt, H Frischluft, I Frischgase, J Abgase (zur Esse), K Abgase (zur Esse)

Deshalb ist man bestrebt, die erzeugte Wärme soweit wie möglich auszunutzen. Ein Teil der Wärme wird daher wieder zum Vorwärmen von Frischluft und Gas verwendet. (Bei der Lösung dieser Aufgabe konnte man sich auf die Erfahrungen stützen, die bei der Stahlgewinnung gesammelt worden waren.)

Unterhalb der Wanne befinden sich Kammern, die ein Gitterwerk aus feuerfesten Steinen enthalten. Jeweils die Hälfte der Kammern wird von den noch sehr heißen Gasen durchströmt, die dabei einen Großteil ihrer mitgeführten Wärme an die Steine abgeben und sie erhitzen. Weisen die Steine eine Temperatur von nahe 1000 Grad Celsius auf, so leitet man durch diese heißen Kammern Gas und Frischluft getrennt. Erhitzt auf mehrere hundert Grad und damit vorgewärmt, treten Gas und Frischluft durch die Brenneröffnungen in die Wanne ein und erzeugen durch ihre Verbrennung sehr heiße Flammen. Die Abgase werden nun in die abgekühlten Kammern geleitet und erwärmen sie. Ein ständiger Wechsel der Strömungsrichtung hat zur Folge, daß die abgekühlten Kammern zur Erwärmung der Frischgase dienen.

Die Wärmespeicherkammern sind ein entscheidender Bestandteil der Glasschmelzöfen. Durch sie kann man die Schmelzkosten ganz erheblich mindern. Der größte Teil der zugeführten Wärme ginge nutzlos verloren, wenn man ihn nicht in den Wärmekammern speichern und wieder dem Schmelzvorgang zuführen würde.

Glasschmelzwannen arbeiten ununterbrochen, Tag und Nacht, über viele Monate und Jahre. Ständig wird auf der einen Seite Gemenge zugeführt und auf der

anderen Seite Glasschmelze entnommen, so daß der Glasstand in der Wanne immer gleich bleibt. Meßgeräte überprüfen die Temperatur und die Gaszusammensetzung. Schon geringe Änderungen gegenüber den vorgeschriebenen Werten führen zu erheblichen Störungen der Glasherstellung und dadurch zu großen Verlusten. Deshalb ist man bestrebt, den komplizierten Schmelzablauf in all seinen Einzelheiten zu erforschen. Bei jeder Abweichung von den vorgegebenen Daten muß man sofort berichtend eingreifen können. Dieses Steuern wird noch überwiegend von Hand durchgeführt. Mit zunehmenden Kenntnissen aus der Forschung wird es aber möglich werden, daß die Steuerung automatisch erfolgt.

Bauen mit Glas

Berlin – Alexanderplatz. Es ist das neu und großzügig gestaltete Zentrum der Hauptstadt unserer Republik. Dort steht das Centrum-Warenhaus, dort sprudelt der Springbrunnen, die große Weltzeituhr ist von Berlinern und ihren Gästen aus dem In- und Ausland umlagert. Vor uns ragt das helle Gebäude des Interhotels „Stadt Berlin“ empor, in seiner Höhe nur noch übertroffen vom in der Nähe befindlichen Fernsehturm. Viele Fenster mit in der Sonne blinkenden Scheiben unterbrechen die Hotelfassade aus blauen Glastafeln. Modernes Bauen – Bauen mit Glas.

In der Tat, im Bauwesen spielt das Glas eine große Rolle. Man findet es nicht nur als Fensterscheiben oder Fassadenfronten an Wohnhäusern, Geschäften, Betrieben oder Kulturbauten. Gläser werden auch in Form

von Drahtglas, Glasbausteinen oder andersartig als selbsttragende Bauteile eingesetzt. Glaswolle und Schaumglas besitzen eine vorzügliche Wärmedämmung. Das heißt, bei ihrer Verwendung schirmen sie Räume vor Kälte oder Wärme ab. Farbige Gläser lassen sich in Räumen und an den Außenflächen der Häuser (Fassaden) als Schmuckelemente vielfältig verwenden.

Es war ein weiter Weg von den ersten kleinen Glasscheiben der Römer über die leicht gewölbten Butzenscheiben des Mittelalters zu den großflächigen Verglasungen unserer Zeit.

Ob man durch rasches Drehen der Glasmacherpfeife runde Glasscheiben formte oder später große Hohlzylinder blies, sie in Längsrichtung aufschnitt und zu einer Tafel glättete, immer gehörte dazu schwerste körperliche Arbeit. Auch das 1688 in Frankreich erfundene Walzverfahren, bei dem die Glasschmelze auf eine flache Eisenplatte gegossen, mit Walzen ausgebreitet und auf die gewünschte Dicke gebracht wurde, war umständlich genug. Zudem besaß ein so erhaltenes Flachglas eine raue Oberfläche und mußte anfangs mühevoll von Hand geschliffen und poliert werden. Kein Wunder also, wenn solche Scheiben fast unerschwinglich für die arbeitende Bevölkerung waren. Die Paläste von Königen und die Häuser reicher Bürger konnten damit aber ausgestattet werden. Erst später wurden Maschinen eingesetzt, die das Schleifen und Polieren ausführten.

Der entscheidende Durchbruch in der Modernisierung der Glasherstellung setzte mit Beginn des 20. Jahrhun-

derts ein. Genügend große Glaswannen waren hergestellt worden, die in fortdauerndem Betrieb Glas lieferten. Erste Versuche, ein dünnes Glasband aus der Schmelze zu ziehen, wurden bereits seit Mitte des 19. Jahrhunderts unternommen, jedoch zunächst ohne viel Erfolg. Erst am Anfang des 20. Jahrhunderts konnten die zahlreichen technischen Probleme gelöst werden.

Verschiedene Ziehverfahren wurden entwickelt, aber das Grundverfahren blieb erhalten. Aus der zähflüssigen Glasschmelze wird ein Band gezogen, das schon kurz nach der Entnahme erstarrt und durch Rollen bewegt zu einer Bühne gelangt, wo es auf die gewünschte Länge geschnitten und gestapelt wird (s. Bild S. 47). Technisch war die Aufgabe schwieriger zu lösen. Zunächst muß man nämlich eine Glasschmelze von stets gleichbleibender Qualität herstellen, da die gesamte Ziehanlage darauf abgestimmt sein muß. Zu Beginn des Vorgangs wird eine Ziehdüse mit einer langgestreckten schlitzförmigen Öffnung in die Schmelze gedrückt. Die aus der Düse hervorquellende Schmelze wird mit einem Fangeisen ergriffen und nach oben gezogen, wobei die Schmelze schon nach kurzem Weg erstarrt und ständig neues Glas nachzieht. Viele übereinander angeordnete Rollenpaare führen das endlose Glasband nach oben, wobei es abkühlt. Auf der Schneidbühne werden durch automatisch arbeitende Schneid- und Abziehvorrichtungen die Tafeln abgetrennt und zum Lager befördert.

Änderungen dieses ursprünglichen Verfahrens bestehen darin, die sehr stark beanspruchte Düse

durch einen widerstandsfähigen Unterglasblock zu ersetzen oder die Ränder des aus der Schmelze tretenden Glasbandes durch wassergekühlte Eisenwalzen sehr schnell zum Erstarren zu bringen. Dadurch wird ein Zusammenziehen des noch zähflüssigen Glasbandes verhindert, und man erhält breitere Tafeln. Durch die Herstellung von Flachglas im Ziehverfahren eröffneten sich völlig neue Möglichkeiten im Bauwesen.

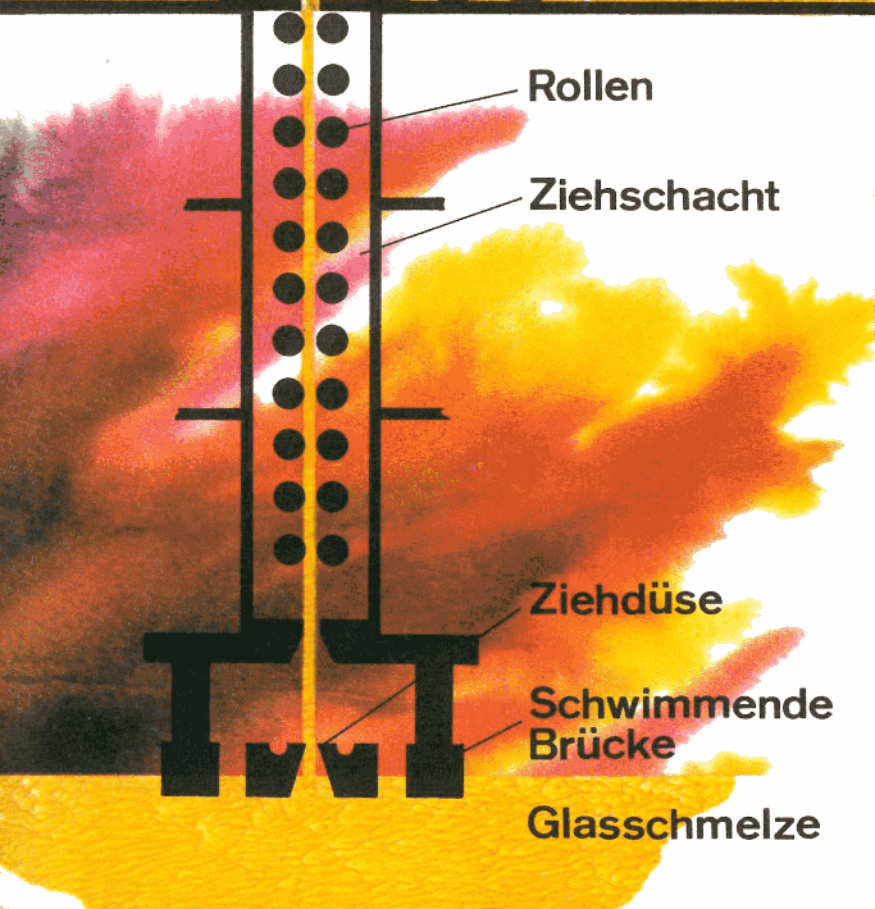
Auch die Walzverfahren wurden weiterentwickelt, insbesondere zur Herstellung dicker Glasscheiben. Diese speziellen Flachgläser können nicht im Ziehverfahren hergestellt werden. Die zähflüssige Glasmasse läuft aus der Wannenöffnung zwischen Walzen, deren Rollen sich entgegengesetzt drehen. Die Masse wird dadurch auf die gewünschte Dicke gebracht und weitertransportiert. Dieses Verfahren kann vielfältig verändert werden. Sind die Walzen geriffelt, so erhält man das gemusterte Ornamentglas, welches die Lichtstrahlen beim Hindurchtreten zerstreut. Es ist aus diesem Grunde nur durchscheinend.

Man kann auch unmittelbar vor dem Erstarren des Glasbandes die beiden Seiten rechtwinklig umschlagen und kommt auf diese Weise zum U-förmig gestalteten Profilglas. Damit lassen sich beispielsweise lichtdurchlässige Wände oder Abdeckungen errichten.

Um 1850 gelang dem englischen Glasfabrikanten Newton eine für das Bauwesen interessante Neuentwicklung. Ein Zufall brachte ihn zu Überlegungen, die im Ergebnis zur Herstellung von Drahtglas führten.



Arbeitsbühne



Rollen

Ziehschacht

Ziehduse

**Schwimmende
Brücke**

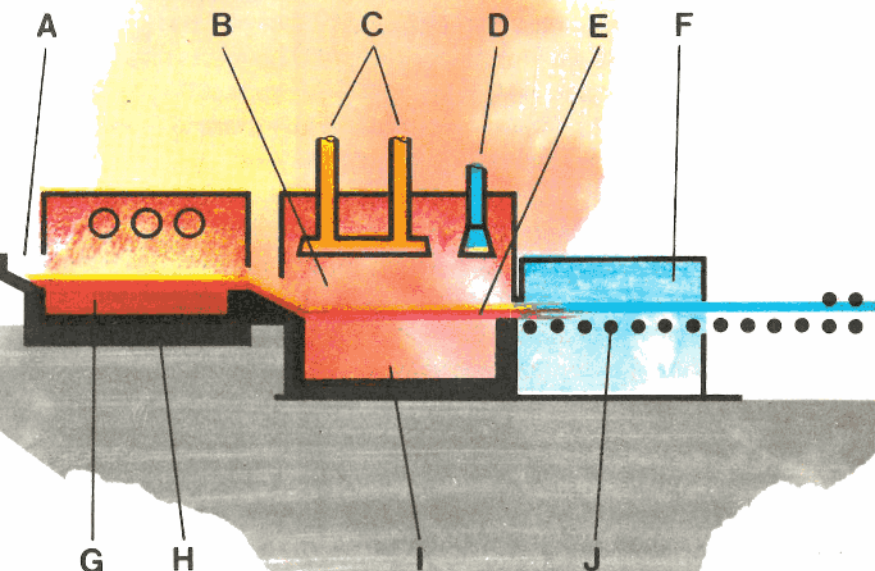
Glasschmelze

Eines Morgens machte Newton eine zunächst wenig erfreuliche Feststellung. Einbrecher waren in der Nacht durch die Glasscheiben seiner Veranda in die Wohnung eingedrungen und hatten Wertgegenstände gestohlen. Dies war schon ärgerlich genug. Viel mehr betrückte ihn aber der Gedanke, daß gerade das von ihm so geschätzte Glas den Einbrechern wenig Widerstand entgegengesetzt hatte. Wie konnte man diesem Übel abhelfen? Indem man ein Gitter vor die Scheibe anordnete? Aber sollte es nicht besser sein, dieses Metallgitter gleich in das Glas hineinzubringen? Newton unternahm in seiner Fabrik Versuche, die auch Erfolg hatten. So kam es zur Herstellung von Drahtglas.

Zwischen die Walzen wird ein Drahtgeflecht mit eingeführt, das sich in das Glas einlagert und anschließend die Durchsichtigkeit des Glases kaum beeinträchtigt. Der Vorteil des Drahtglases liegt darin, daß die Glassplitter nach einem Bruch durch das Drahtgeflecht zusammengehalten werden. Dadurch hat es sogar eine feuerhemmende Wirkung.

Gleichgültig, ob Flachglas durch Ziehen oder Walzen hergestellt wird, seine Oberfläche ist in beiden Fällen nicht völlig glatt und eben. Meist sind diese Unebenheiten im üblichen Gebrauch ohne Einfluß. Doch bei der Herstellung von Spiegeln können sie sich schon unangenehm bemerkbar machen. Denn beim Hineinschauen kann man sein Gesicht nicht in voller Ebenmäßigkeit erblicken. Sehr stark übertrieben kennen wir diese Erscheinung von den Vexierspiegeln, worin man sich komisch verkleinert oder in einer anderen Weise verzerrt erblickt. Um einen guten Spiegel herzustellen,

Schwimmglasverfahren



Schwimmglasverfahren. A Gemengeeinlage, B Wärmezufuhr von oben, C Erhitzer, D Zufuhr von Gasen, die die Oxydation des Metallbades verhindern, E Glasband, F Kühltunnel, G Glasschmelze, H Glasschmelzwanne, I Metallbad, J Transportwalzen

muß deshalb die Oberfläche der Scheibe geschliffen oder poliert werden. Da die Spiegel in früheren Zeiten von Hand geschliffen und poliert werden mußten, waren sie äußerst teuer.

Der englische Fabrikant Pilkington, in dessen Werk Spiegelglas durch umständliches Polieren hergestellt wurde, dachte darüber nach, wie man es einfacher und schneller machen könnte. Sein Gedanke war folgender: Wenn man das noch weiche und formbare Glasband waagrecht über eine Metallschmelze bewegt, so wird es an der Unterseite genauso glatt wie die ideal ebene Oberfläche der Metallschmelze. Um auch die Oberfläche des Glasbandes zu glätten, muß man sie eine Zeitlang über dem Erweichungspunkt erhitzen. Das noch weiche und formbare Glas wird somit von keiner Walze berührt. Erst wenn das Glas erstarrt ist, kann es mittels Walzen durch den Kühltunnel befördert werden.

Zur Verwirklichung dieses Gedankens waren eine Vielzahl technischer Schwierigkeiten zu bewältigen. Die Arbeiten dauerten deshalb auch viele Jahre, ehe 1959 die Herstellung von Floatglas störungsfrei lief. Das Kernstück der Anlage war eine sich an die Glas-schmelzwanne anschließende große heizbare Kammer, die eine Zinnschmelze enthielt. Das recht teure Zinn mußte gewählt werden, weil es mit 232 Grad Celsius einen niedrigen Schmelzpunkt aufweist, sich in der Hitze nicht verändert und an der Oberfläche blank bleibt. Entlang dieser Kammer fällt die Temperatur so weit ab, daß das anfangs noch weiche Glasband am Kammerende fest ist und im Kühltunnel von Walzen übernommen werden kann.

Dieses Schwimmglass-Verfahren erzeugt ein Flachglas von ausgezeichneter Qualität und wird heute in vielen Ländern zur Herstellung von Spiegelglas und Scheiben angewandt, die eine völlig glatte und gleichmäßige Oberfläche aufweisen.

Fassaden mit großen Fensterflächen haben den Vorteil, viel Licht in die Räume zu lassen, und gestatten einen weiten und ungestörten Ausblick. Besonders in Werkhallen kommt es auf gute Lichtverhältnisse am Arbeitsplatz an. Doch bei den großen Fensterflächen kann auch ein Nachteil spürbar werden, für dessen Abstellung man bis vor kurzem keine befriedigende Lösung zur Verfügung hatte. Scheint die Sonne stark und längere Zeit auf solch große Fensterflächen, so erwärmt sich die Luft in den dahinter befindlichen Räumen stark. Man kennt diese Wirkung der Wärmestrahlung von glasgedeckten Gewächshäusern.

Man kann der Überwärmung von Räumen bis zu einem gewissen Grad durch Vorhänge oder Rolläden abhelfen. Aber dann dunkelt man auch den Raum ab und benötigt künstliches Licht. Klimaanlage rentieren sich nur bei großen Räumlichkeiten, wie Gaststätten und Büros.

Physiker forschten gemeinsam mit Glasfachleuten nach einer besseren Lösung. Man entwickelte Fensterglas, das nur das sichtbare Licht hindurchläßt, die Wärmestrahlung jedoch zurückwirft und sie so am Eindringen in den Raum hindert. Zu diesem Zweck dampft man auf die Glasfläche eine hauchdünne Metallschicht. Die Metallschicht ist so dünn, daß sie den Lichtdurchgang kaum beeinflußt. Das Glas ist

lediglich schwach bräunlich oder bläulich gefärbt. Der größte Teil der von außen kommenden Wärmestrahlung wird an dieser Schicht zurückgeworfen. Räume mit solchen Fensterscheiben bleiben auch bei kräftiger Sonneneinstrahlung mäßig warm.

In der DDR werden diese Scheiben im VEB Flachglaswerk Torgau gefertigt und unter der Bezeichnung „Theraflex“ angeboten. Sie stellen einen wesentlichen Fortschritt in der Glaserzeugung dar. Diese schwach gefärbten Fensterscheiben werden in immer größerem Maße angewendet.

Zum Abschluß sollen noch einige Bemerkungen über das Schaumglas gemacht werden. Es handelt sich dabei um ein poröses Glas, das eine Unzahl von Bläschen enthält. Während sonst Blasen im Glas unerwünscht und als Glasfehler gefürchtet sind, wird hier die Herstellung in der Weise durchgeführt, daß sehr viele Gasblasen in der Glasmasse frei werden und sie wie einen Schwamm stark aufblähen. Man erreicht dies, indem man Glas zu einem feinen Pulver mahlt und Stoffe beimengt, die sich bei höheren Temperaturen unter Gasabscheidung zersetzen. Man füllt dieses Gemisch in große Formen und erhitzt es in einem Ofen. Zuerst sintern die Glaskörnchen unter Erweichen zusammen und werden dann durch die jetzt freiwerdenden Gase aufgetrieben. Ähnlich ist es beim Kuchenteig, der durch Hefe oder Backpulver aufgebläht wird. Nach dem Abkühlen besteht die feste Masse aus vielen kleinen Gasblasen, die von einer dünnen Glashaut umge-

A collage of various glass products. At the top left is a bright yellow sun with rays. Below it is a green-framed window with a dark, textured interior. To the right of the window is a blue and white checkered floor. Below the floor is a brick wall made of colorful bricks (red, yellow, blue, orange). In the bottom left corner is a large, textured orange block. In the bottom right corner is a long, yellow, rectangular block. The text labels are placed to the left of each corresponding image: 'Bauglas' is at the top right, 'Fensterglas' is to the left of the window, 'Drahtglas' is to the left of the checkered floor, 'Glasbausteine' is to the left of the brick wall, 'Profilglas' is to the left of the yellow block, and 'Schaumglas' is to the left of the orange block.

A collage of various glass products. At the top left is a bright yellow sun with rays. Below it is a green-framed window with a dark, textured interior. To the right of the window is a blue and white checkered floor. Below the floor is a brick wall made of colorful bricks (red, yellow, blue, orange). In the bottom left corner is a large, textured orange block. In the bottom right corner is a long, yellow, rectangular block. The text labels are placed to the left of each corresponding image: 'Bauglas' is at the top right, 'Fensterglas' is to the left of the window, 'Drahtglas' is to the left of the checkered floor, 'Glasbausteine' is to the left of the brick wall, 'Profilglas' is to the left of the yellow block, and 'Schaumglas' is to the left of the orange block.

A collage of various glass products. At the top left is a bright yellow sun with rays. Below it is a green-framed window with a dark, textured interior. To the right of the window is a blue and white checkered floor. Below the floor is a brick wall made of colorful bricks (red, yellow, blue, orange). In the bottom right corner is a large, textured orange block. The text labels are: Bauglas, Fensterglas, Drahtglas, Glasbausteine, Profilglas, and Schaumglas.

A collage of various glass products. At the top left is a bright yellow sun with rays. Below it is a green-framed window with a dark, textured interior. To the right of the window is a blue and white checkered floor. Below the floor is a brick wall made of colorful bricks (red, yellow, blue, orange). In the bottom right corner is a large, textured orange block. The text labels are: Bauglas (top right), Fensterglas (middle left), Drahtglas (middle left), Glasbausteine (middle left), Profilglas (bottom left), and Schaumglas (bottom left).

A collage of various glass products. At the top left is a bright yellow sun with rays. Below it is a green-framed window with a dark, textured interior. To the right of the window is a blue and white checkered floor. Below the floor is a brick wall made of colorful bricks (red, yellow, blue, orange). In the bottom right corner is a large, textured orange block. The text labels are: Bauglas (top right), Fensterglas (middle left), Drahtglas (middle left), Glasbausteine (middle left), Profilglas (bottom left), and Schaumglas (bottom left).

A collage of various glass products. At the top left is a bright yellow sun with rays. Below it is a green-framed window with a dark, textured interior. To the right of the window is a blue and white checkered floor. Below the floor is a brick wall made of colorful bricks (red, yellow, blue, orange). In the bottom right corner is a large, textured orange block. The text labels are: Bauglas (top right), Fensterglas (middle left), Drahtglas (middle left), Glasbausteine (middle left), Profilglas (bottom left), and Schaumglas (bottom left).

ben sind und sich deshalb auch nicht mit Wasser vollsaugen können.

Gase leiten die Wärme noch schlechter als Glas. Aus diesem Grunde stellt Schaumglas ein ganz vorzügliches Hindernis (Isolierstoff) gegen Wärme und Kälte dar. Weiterhin besitzt es den Vorteil, völlig unbrennbar zu sein, was bei geschäumten Plasten nicht der Fall ist.

Schaumglas wird beim Bau von Kühlhäusern und auch als Dämmstoff gegen Wärmeeinwirkung bei Flachdächern verwendet. Dieses Glas ist viel leichter als Holz und läßt sich gut bohren, sägen, schneiden und kleben. In der DDR wird es unter der Bezeichnung „Coriglas“ in den Handel gebracht.

Mit diesen Beispielen ist die Anwendung des Glases im Bauwesen bei weitem nicht erschöpft. Die Entwicklung neuer Gläser mit verbesserten Eigenschaften und die Verknüpfung mit anderen Werkstoffen wird seine Bedeutung noch erheblich ansteigen lassen.

Der Glasdokter von Jena

Der Universitätsmechanikus Carl Zeiß war ein geachteter Bürger – nicht nur in Jena. Die in seiner feinmechanisch-optischen Werkstatt gebauten Mikroskope wurden weit und breit geschätzt. 1846 hatte er, aus seiner Vaterstadt Weimar kommend, in der benachbarten Universitätsstadt Jena eine kleine mechanische Werkstatt eröffnet.

Er war fleißig und gewissenhaft in seiner Arbeit, wißbegierig und kritisch in seinem Denken. Und gerade deshalb war er besorgt um die Weiterentwicklung der

Optik. Jedes Mikroskop benötigte Glaslinsen, die in der Werkstatt mit viel Geschick durch Handarbeit in die benötigte Form gebracht werden mußten. Es wurde so lange probiert und immer wieder geschliffen und poliert, bis die Linse für das Gerät geeignet war. Das war eine mühevollen und zeitraubende Arbeit. Dieses „Pröbeln“ hing sehr vom Zufall ab.

Zeiß fragte sich, ob es nicht Gesetze gibt, die eine genaue Vorausberechnung der Linsengröße und -form gestatten. So könnte die Qualität der Mikroskope verbessert und deren Herstellung beschleunigt werden. Das langwierige Probieren könnte aufhören. Carl Zeiß bemühte sich selbst um die Lösung dieser Frage. Noch mit 40 Jahren studierte er in den Hörsälen der Universität zu Jena Mathematik, Physik und insbesondere Optik. Er wollte sich das notwendige Wissen aneignen.

Seit einiger Zeit arbeitete ein junger Dozent der Physik und Mathematik in den Zeißschen Werkstätten. Er hieß Ernst Abbe, war 26 Jahre alt und kam aus Eisenach. Er stammte aus einer Arbeiterfamilie. Not und Entbehrung waren ständiger Gast in seinem Elternhaus gewesen. Schon früh hatte der junge Abbe eine außergewöhnliche Begabung in der Schule gezeigt. Für die naturwissenschaftlichen Fächer sowie für Mathematik interessierte er sich besonders. Unter großen Entbehrungen besuchte er die Schule und studierte nach seinem Abitur in Jena. Bereits mit 23 Jahren wurde er Dozent für Physik und Mathematik an der gleichen Universität. Seine Vorlesungen wollte er mit zahlreichen Versuchen anschaulicher, interessanter gestalten.

ten. Doch dazu benötigte er Geräte, die nicht vorhanden waren. Für den Ankauf fehlte es in der Universitätskasse an Geld. Also hatte er sich an den Universitätsmechanikus Zeiß gewandt mit der ungewöhnlichen Bitte, in dessen Werkstatt selbst einige Apparaturen bauen zu dürfen. Zeiß hatte schließlich zugesagt, zunächst etwas skeptisch.

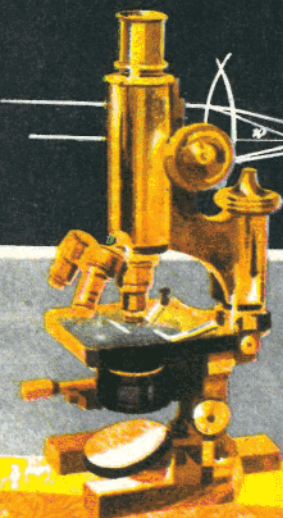
Abbe errang aber schnell dessen Vertrauen und Zuneigung. Zeiß berichtete von seinen Überlegungen zur Berechnung optischer Geräte. Abbe hörte sehr aufmerksam zu. Er machte Vorschläge, und man beschloß schließlich, gemeinsam an die Lösung dieser Aufgabe zu gehen.

Dies war der Beginn einer erfolgreichen Zusammenarbeit zwischen einem Praktiker und einem Wissenschaftler. Sie wirkte sich für die Entwicklung und den Bau optischer Geräte beispielhaft aus. Das Zeißwerk wurde schließlich in der ganzen Welt zu einem Begriff für höchste Leistung und Qualität.

Die Berechnungen Abbes und die Genauigkeit von Zeiß ergänzten sich in hervorragender Weise. Doch ergaben sich Grenzen. Alle Mühe und Arbeit war umsonst, wenn man nicht einen guten Werkstoff, wenn man nicht ein optisches Glas von höchster Qualität, großer Reinheit und Gleichmäßigkeit mit bestimmten und genau abgestuften optischen Werten bearbeiten konnte.

Um diese Zeit hatte ein Chemiker mit Namen Otto Schott viele Versuche mit Gläsern durchgeführt. Sein

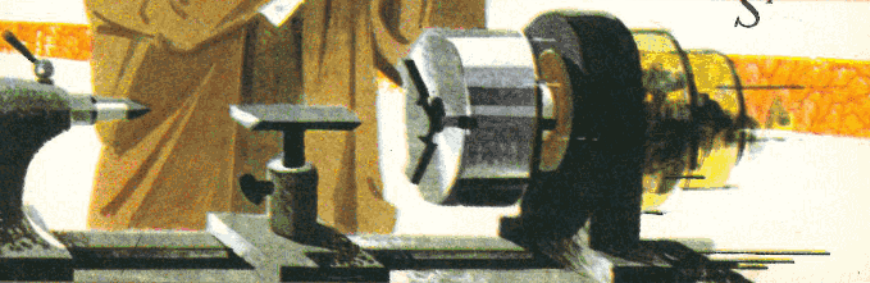
Der Feinmechaniker Carl Zeiß und der Physiker Ernst Abbe begründeten in Jena das Zeißwerk



Ernst Abbe



Carl Zeiss



S'

Vater besaß eine Tafelglashütte. Das Geheimnis vom Werden und Formen des Glases hatte Otto Schott gefesselt. Bald erkannte er, in welchem großen Maße Zufall und Glück dabei eine Rolle spielten und wie wenig wissenschaftlich erhärtete Kenntnisse darüber vorlagen. Was ist Glas? Wie kann man es in seiner Zusammensetzung ändern und welche Eigenschaften ergeben sich dabei? Viele offene Fragen tauchten auf, sobald man sich wissenschaftlich mit dem Glas befaßte. So begann Otto Schott, sich nach dem Chemiestudium ganz der Erforschung des Glases zu widmen.

Bei seinen Schmelzversuchen erhielt er Gläser, die seiner Meinung nach für die Herstellung optischer Geräte brauchbar sein mußten. Er selbst konnte das nicht mit Gewißheit beurteilen. Aber da gab es in Jena das Zeißwerk und den berühmten Professor Ernst Abbe. So packte Dr. Schott seine neuen Glasproben in ein Paket und sandte sie 1879 mit einem Begleitschreiben nach Jena.

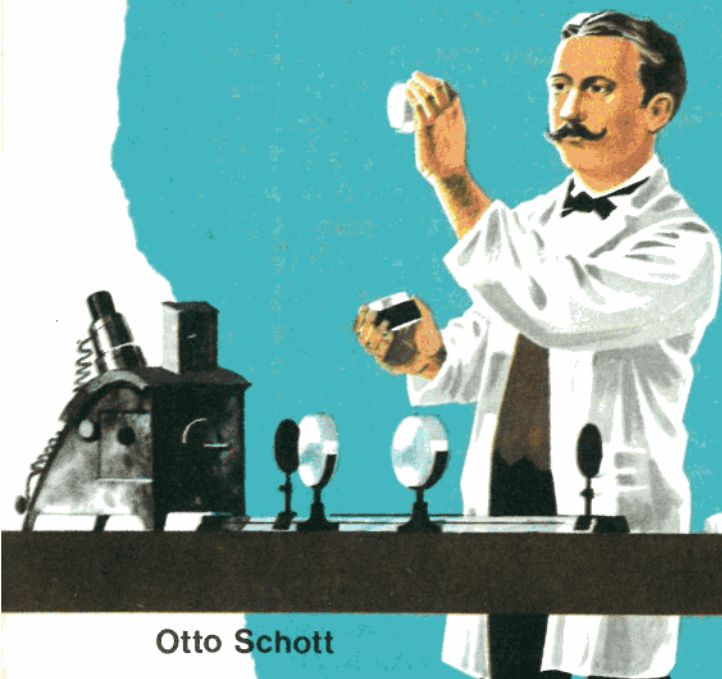
Abbe erkannte sofort, daß hier ein sehr geschickter und wissenschaftlich arbeitender Glaschemiker am Werke war, der mithelfen könnte, die Sorgen um das optische Glas zu beseitigen. Er lud ihn zu einer Unterhaltung nach Jena ein. Am 4. Januar 1881 traf spätabends Dr. Schott in Jena ein. Das Gespräch wurde erst am frühen Morgen des folgenden Tages beendet. Dabei hatten sich zwei Menschen gefunden, die künftig eng zusammenarbeiteten.

Zunächst reiste Schott aber in seine Heimatstadt zu-

Der Glaschemiker Otto Schott stellte neue optische Gläser her



Jenaer Glashütte 1889



Otto Schott

rück, um dort, angeregt durch das Gespräch mit Abbe, weitere Schmelzversuche zu unternehmen. Die Proben schickte er nach Jena. Von dort erfuhr er volle Zustimmung und ungeteilte Anerkennung.

Wie sollte es aber weitergehen? Gläser in kleinen Schmelztiegeln herzustellen war nur die eine Seite. Nun kam es aber darauf an, größere Mengen dieser neuen Gläser zu schmelzen, um den dringend benötigten Werkstoff zur Verfügung zu stellen. Erneut sprachen Abbe und Schott miteinander. Man kam überein, daß Schott nach Jena übersiedelt. Dort sollte mit Unterstützung des Zeißbetriebes ein glastechnisches Laboratorium errichtet werden, ein Gebäude für Untersuchungs- und Forschungszwecke. Jetzt waren die Arbeiten für Otto Schott unter günstigeren Bedingungen und in ständigem Kontakt mit Abbe und Zeiß möglich. Unermüdlich schaffte er im Laboratorium, baute neue Öfen, mischte bis dahin nicht übliche Bestandteile in das Gemenge und untersuchte die so erhaltenen Gläser. Neue Gläser mit nicht für möglich gehaltenen Eigenschaften und höchster Qualität wurden vom Glasdokter entwickelt und auch in größeren Mengen geschmolzen. Im Jahre 1884 erfolgte der letzte Schritt. Es kam zur Gründung einer Glasfabrik, aus der der heutige VEB Jenaer Glaswerk Schott & Gen. hervorgegangen ist. Nun hat Schott keineswegs als erster optisch genutzte Gläser hergestellt. Schon lange vor ihm baute man Lupen, Fernrohre und Mikroskope und benötigte für die Linsen ein geeignetes Glas. Es mußte möglichst frei sein von Blasen und Schlieren und ein bestimmtes Lichtbrechungsverhalten aufweisen. Man kannte Glä-

ser mit unterschiedlicher Lichtbrechung und Lichtzerstreuung und verband sie in der Art, daß die früher unvermeidbaren Farbfehler in der Abbildung wenigstens teilweise beseitigt wurden. Aber allen diesen Gläsern haftete ein entscheidender Mangel an. Sie wurden nicht eigens für die Anwendung in der Optik und auch nicht mit der dafür notwendigen Genauigkeit hergestellt. Vielmehr fielen sie als Nebenerzeugnisse der Glashütten an. Man suchte sie aus den geschmolzenen Gebrauchsgläsern aus und mußte große Mühe aufwenden, um für eine größere Linse ein geeignetes Glasstück ausfindig zu machen. Auch änderten sich die Werte für die Lichtbrechung und -zerstreuung von Schmelze zu Schmelze, denn darum kümmerte sich der Hersteller von Flachglas oder Kristallglas nicht.

Bereits um 1750 arbeitete der vielseitige Forscher Lomonossow in Rußland an der Erforschung des Glases sowie seiner Eigenschaften und führte in wenigen Jahren über 4 000 Schmelzversuche durch. In einer kleinen Glashütte stellte er Farbgläser und auch optisch verwendbare Gläser her.

In Frankreich erzielte Guinand Fortschritte durch Verwendung eines keramischen Rührers, durch den die Glasschmelze in der Mischung gleichmäßiger erhalten werden konnte. In München experimentierte zu Beginn des 19. Jahrhunderts Fraunhofer an der Verbesserung optischer Gläser, und in Jena hatte schon früher der Chemieprofessor Döbereiner einige Schmelzversuche an Gläsern unternommen. Eine zielgerichtete und umfassende Erforschung der Zusammensetzung, des Schmelzverhaltens, der Eigenschaften und der Herstel-

lungsbedingungen erfolgte aber erst durch Otto Schott.

Bereits 1886, also nur zwei Jahre nach der Inbetriebnahme des Glaswerkes in Jena, konnte Schott in seinem Katalog 44 optische und andere neue Gläser anbieten. Das Werk war zum führenden Hersteller optischer Gläser geworden, die von hier in alle Welt geliefert wurden.

Von gleich großer Bedeutung waren die Verdienste Schotts um die Weiterentwicklung der Schmelzverfahren. Dadurch konnten große Mengen neuer Gläserzeugnisse in kürzester Zeit produziert werden. Schott führte die Vorwärmkammern bei den Glasöfen ein und ermöglichte dadurch höhere Schmelztemperaturen. Das Gießen optischer Gläser in vorgeheizte große Formen stammt von ihm und wird bis heute angewandt. Um die Qualität optischer Gläser zu verbessern, wurden besondere keramische Massen zur Herstellung der großen Schmelztiegel verwendet. Sie lösten sich kaum noch in den Schmelzen und veränderten auch dadurch deren Eigenschaften nicht.

Aber auch Gläser für spezielle technische Anwendungen wurden im Schottwerk entwickelt und hergestellt. Durch die Einführung der Borsäure in Gläser konnten das Temperaturwechselverhalten und die chemische Beständigkeit ganz entscheidend verbessert werden. Diese neuen Borosilikatgläser, von denen das wichtigste unter der Bezeichnung Rasotherm bekannt wurde, ertragen einen größeren Temperaturwechsel ohne Bruch und werden auch von chemischen Verbindungen und heißem Wasser viel weniger als andere Gläser

angegriffen. Für die sich stürmisch ausbreitende Elektroindustrie stellte Schott geeignete Gläser zur Verfügung. Die chemische Industrie arbeitete mit Kolben und Rohrleitungen aus Schottgläsern. Die Empfindlichkeit und Genauigkeit von Thermometern wurde durch dafür geeignete Gläser verbessert. Jenaer Glas wurde zu einem weltweiten Begriff.

In der DDR werden die guten Traditionen des Wissenschaftlers und Praktikers Otto Schott und des von ihm bis 1927 geleiteten Werkes weitergeführt. Nach wie vor wird in dem nunmehr volkseigenen Jenaer Glaswerk Schott & Gen. Glas für die Optik, Industrie und den Haushalt geschmolzen, und auch technische Geräte werden daraus hergestellt.

Die Erzeugnisse des Jenaer Glaswerkes werden in alle Welt geliefert. In den Laboratorien forscht man nach neuen Gläsern und Herstellungsverfahren. Auch die Universität in Jena hat sich diesen Arbeiten angeschlossen. Im „Otto-Schott-Institut“ arbeiten viele Wissenschaftler in enger Verbindung mit der Industrie an der weiteren Erforschung des Glases, um seine Geheimnisse zu enträtseln und es immer stärker den Bedürfnissen der Volkswirtschaft anzupassen. Seit Otto Schott hängen die Begriffe Jena und Glas eng zusammen.

Glas in der Optik

Wir erfuhren bereits mehrfach von optischen Gläsern. Dabei mußten wir den Eindruck gewinnen, als ob es sich hier um ein Glas handelt, das hinsichtlich seiner Eigenschaften, Herstellung und Bearbeitung Be-

sonderheiten aufweist. Das ist tatsächlich der Fall. Optische Gläser sind ein wichtiger Bestandteil optischer Geräte und dienen dazu, die Lichtstrahlen in bestimmter Weise zu beeinflussen.

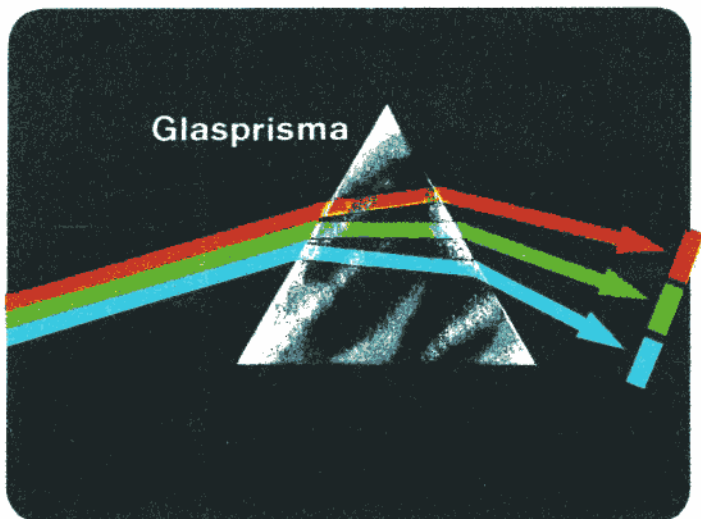
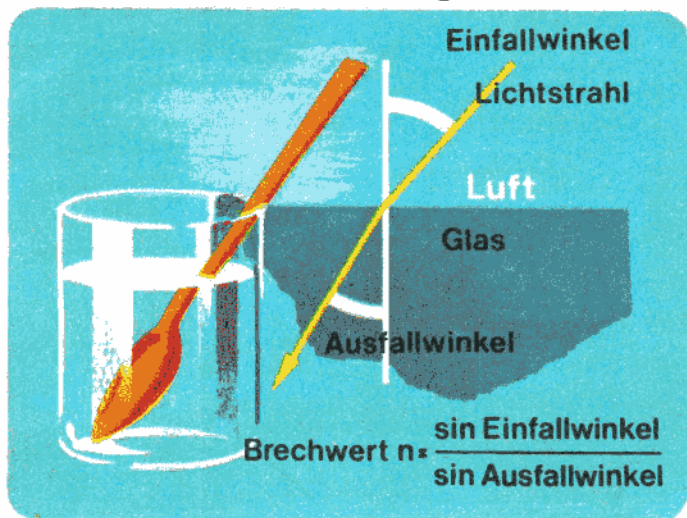
Glas ist für das sichtbare Licht durchlässig, wobei manchmal ein sehr geringer Teil des hindurchfallenden Lichtes vom Glas „verschluckt“, absorbiert, wird. So ist die austretende Lichtmenge immer etwas kleiner als die in das Glas einfallende.

Bei optischen Gläsern kommt es auf eine möglichst große Durchlässigkeit an, da das Licht oft mehrere Linsen oder Prismen passieren muß und dabei nicht zu sehr geschwächt werden darf. Geringe Verunreinigungen im Glas können seine Durchlässigkeit sehr stark beeinträchtigen. Deshalb werden optische Gläser aus sehr reinen Rohstoffen geschmolzen, die meist recht teuer sind und deshalb auch die Kosten des Glases erhöhen.

Jeder kann sich selbst sehr leicht davon überzeugen, daß ein Lichtstrahl beim Eintritt aus Luft in einen durchsichtigen Stoff seine Richtung ändert. Er erfährt eine Brechung. Beim Austritt aus dem Stoff wird er wieder gebrochen und verläuft nun in der ursprünglichen Richtung, allerdings gegenüber dem einfallenden Strahl etwas verschoben. Stellt man einen Löffel in ein mit Wasser gefülltes Glas, so erscheint er an der Oberfläche des Wasserspiegels gebrochen. Natürlich ist er unbeschädigt geblieben, wie man sich beim Herausnehmen überzeugen wird. Die optische

Die Brechung und die Zerstreuung des Lichtes durch Glas

Brechung des Lichtes



Zerstreuung des Lichtes durch Glas

Täuschung wird durch die Brechung des Lichtes beim Übergang von einem Stoff zum anderen verursacht. Gläser zeigen ein unterschiedliches Brechungsverhalten. Dies drückt sich im Brechwert aus, der zwischen 1,3 und 2,0, seltener auch noch höher liegen kann. Je stärker der Lichtstrahl im Glas abgelenkt wird, desto größer ist der Wert. Die Kenntnis des Brechwertes ist für die Berechnung von Linsen für optische Geräte von größter Bedeutung. Die Einhaltung des Brechwertes muß daher vom Hersteller immer wieder garantiert werden. Oft werden Gläser benötigt mit unterschiedlichen Brechwerten, um sie miteinander für ein bestimmtes optisches Gerät zu verwenden.

Gläser zeigen auch ein bestimmtes Zerstreuungsverhalten. Unser Tageslicht ist nicht einheitlich. Es besteht aus Strahlung verschiedener Wellenlängen, die unserem Auge als Farben erscheinen. Ein Regenbogen zeigt uns das. Nun besitzt jede Wellenlänge des Lichtes bei einem bestimmten Glas ein unterschiedliches Brechverhalten. Die Unterschiede sind meist nicht sehr groß, aber deutlich zu erkennen. Wenn man Tageslicht durch ein Glasprisma leitet, wird der rote Anteil des Lichtes weniger stark gebrochen und abgelenkt als der blaue, so daß sich auf einem dahinter befindlichen Schirm die bekannte Farbenspaltung zeigt. Jedes Glas weist eine unterschiedliche Aufspaltung und Zerstreuung auf. Im allgemeinen steigt mit Zunahme des Brechwertes auch die Zerstreuung (Dispersion). Oft werden verschiedene Gläser mit abgestufter Zerstreuung benötigt, um sie so zusammenzustellen, daß beim Abbild keine farbigen Bildränder auftreten.

Ein unterschiedliches Brechungs- und Zerstreuungsverhalten kann man durch Änderung in der Zusammensetzung der Gläser erhalten. Die unterschiedlichsten chemischen Grundstoffe werden als Rohstoffe für die Erzeugung unterschiedlicher Gläser verwendet. Manche Verbindungen, die man dem Gemenge für spezielle Gläser zugibt, sind sehr selten oder schwierig herzustellen, weshalb 1 Kilogramm eines solchen Glases mehrere hundert Mark kosten kann.

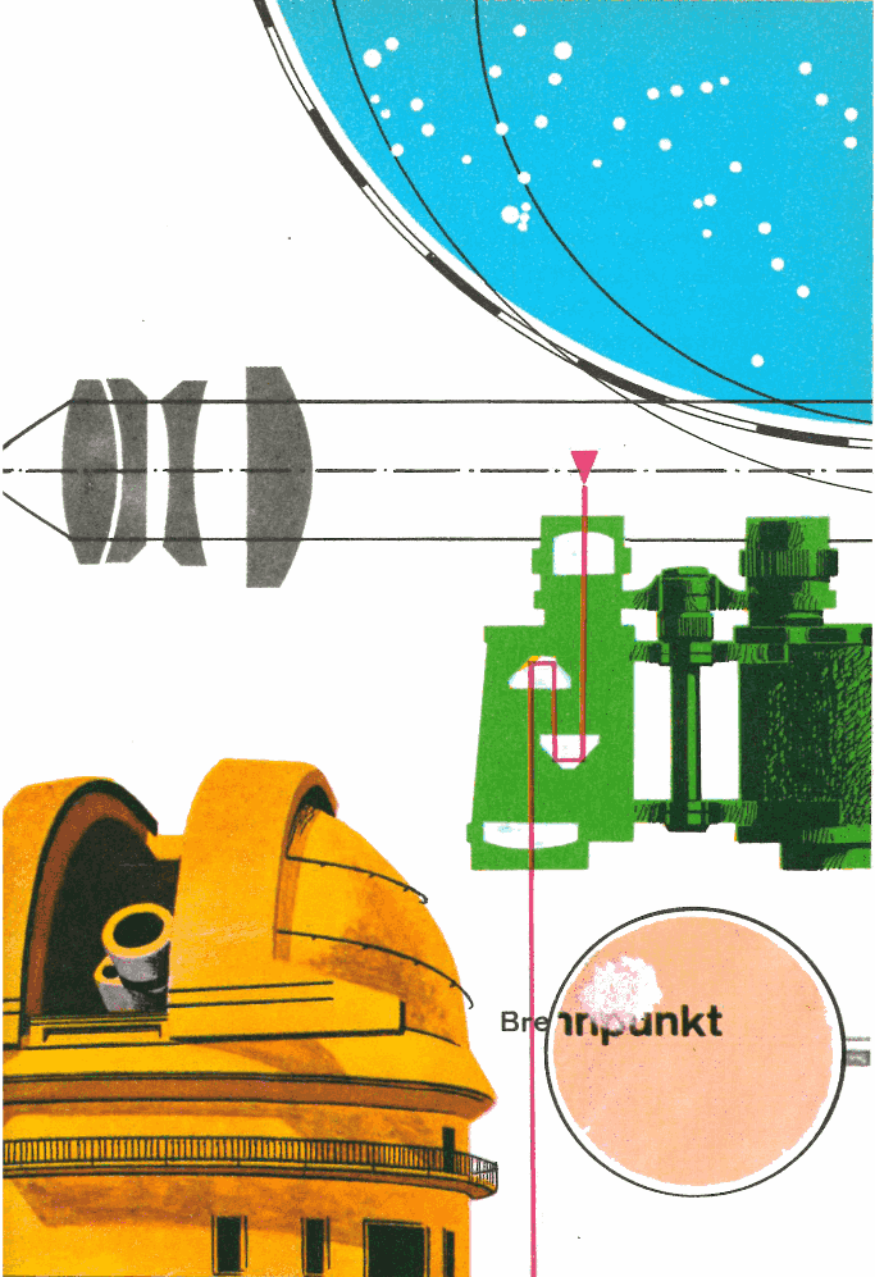
Jede Verunreinigung während der Gemengebereitung und des Schmelzprozesses muß peinlichst vermieden werden. Größere Glasmengen schmilzt man in Tonhäfen oder auch in kleineren Wannen. In jedem Fall wird das Glas durch von außen eingeführte und betriebene Rührer sehr gleichmäßig verteilt (homogenisiert), um die Ausbildung von Schlieren zu vermeiden, die ein optisches Glas wertlos machen können. Als Material für die Häfen oder Wannen werden sehr widerstandsfähige Stoffe verwendet, die sich in der Schmelze nicht lösen dürfen, da sonst die Zusammensetzung und die optischen Eigenschaften verändert würden. Immer häufiger verwendet man daher Platinlegierungen, die die Herstellung eines besonders reinen und stark lichtdurchlässigen Glases ermöglichen.

Früher wurde die Glasschmelze aus den Häfen in große eiserne Formen gegossen, wo sie unter elektrisch oder gasbeheizten Kühlhauben nach einem vorgegebenen Programm sehr langsam erstarrte und abkühlte. Dieser Vorgang kann Wochen und Monate in Anspruch nehmen. Eine sehr sorgfältig durchgeführte Kühlung ist gerade bei optischen Gläsern wichtig, um die Ausbil-

derung von Verspannungen zu vermeiden, die den Lichtdurchgang beeinflussen und verzerrte Abbildungen ergeben. Anschließend wird der Gußblock in Würfel von etwa 20 Zentimeter Kantenlänge gebrochen, geprüft und an die optischen Werke ausgeliefert, in denen die Weiterverarbeitung erfolgt. Heute ist man bemüht, bereits im Glaswerk eine möglichst weitgehende Verformung durchzuführen, so daß die spätere Bearbeitung einfacher wird. Brillenglasrohlinge werden aus der Schmelze durch Pressen mit entsprechenden Maschinen erzeugt. Die zähflüssige Schmelze fließt etwa fingerdick aus der Wanne. Ein scherenartiges Messer trennt sie in regelmäßigen Abständen. Jeder Glasposten fällt in eine vorgewärmte Form, die sich mit anderen Formen auf einer waagrecht angeordneten großen drehbaren Scheibe befindet. Nun drückt ein mit Preßluft betriebener Stempel von oben, formt die Glasmasse und bewegt sich gleich wieder aufwärts. Der erstarrte, aber noch heiße Preßling wird aus seiner Form gestoßen und gelangt auf ein Band, das ihn langsam durch die Kühlanlage bewegt. Nach jeder vollen Umdrehung des Tellers wiederholt sich der Vorgang an der gleichen Form. Die Rohlinge erhalten dadurch die gewünschte Gestalt und brauchen nur noch geschliffen und poliert zu werden.

Man kann auch die aus der Wanne ausfließende Schmelze durch Düsen schicken, die sie zu einem endlosen Strang formen, von dem man durch Ab-

Optische Gläser ermöglichen die Herstellung optischer Geräte, z. B. Fernglas, astronomisches Fernrohr, Lupe



Brennpunkt

schneiden Rundscheiben, Prismen oder eckige Scheiben erhält, entsprechend des Querschnittes der Düsen.

Stets müssen optische Gläser geschliffen und poliert werden. Dadurch erhalten sie die endgültigen Abmessungen und eine völlig glatte Oberfläche. Das Schleifen dient der Formgebung und der Beseitigung grober Oberflächenrauigkeiten. Es erfolgt meist in mehreren Stufen und mit einem immer feiner werdenden Schleifkorn. Das Polieren beseitigt die letzten Unebenheiten der Oberfläche und erzeugt eine vollkommen glatte und spiegelnde Fläche. Es wird hierbei mit besonderen Poliermitteln gearbeitet, die dem Glas angepaßt werden.

Alle optischen Geräte enthalten optische Gläser. Die Lupe besteht nur aus einer einzigen Linse. Viele optische Geräte bestehen aber auch aus vielen hintereinander angeordneten Gläsern. In ihren optischen Werten und in ihrer Form müssen sie genau aufeinander abgestimmt sein. Mikroobjektive haben die Größe einer Streichholzkuppe, sie müssen mit höchster Genauigkeit bearbeitet werden. Linsen und Spiegel bei großen Fernrohren können beträchtliche Ausmaße annehmen und viele Tonnen wiegen. Aber auch ihre Flächen müssen mit einer Genauigkeit von weniger als 1/1000 Millimeter bearbeitet sein. Heute kann man solche Spiegel mit Durchmessern von 500 Zentimetern und mehr herstellen. Der größte astronomische Spiegel weist einen Durchmesser von 600 Zentimetern auf. Er befindet sich in der Sowjetunion. Mit seiner Hilfe ist die Beobachtung bisher nicht sichtbarer Gestirne im Welt-

all möglich geworden. Die Wirkungsweise solcher Giganten beruht auf speziellen Gläsern. Diese weisen kaum eine Wärmeausdehnung auf. So ist es möglich, bei der nächtlichen Beobachtung der Gestirne sommers wie winters mit Hilfe dieser Fernrohre einwandfrei ohne Verzerrungen zu sehen. Der Guß von mehr als hundert Tonnen Schmelze, das sorgfältige Kühlen und das nachfolgende Schleifen und Polieren geschehen mit äußerster Sorgfalt. Dazu benötigt man viele Jahre. Ein kleiner Fehler kann den Spiegel unbrauchbar machen.

Glas spielt in der Optik also eine ausschlaggebende Rolle. Die Herstellung von Glas und dessen vielfache Anwendung wird heute ständig aufeinander abgestimmt. Neue Gläser ermöglichen neue Anwendungen in der Optik und in der Wissenschaft. Umgekehrt wünscht man Gläser mit neuen Eigenschaften und von noch besserer Qualität, um die Leistung der Geräte weiter zu verbessern und neue Anwendungsmöglichkeiten verwirklichen zu können. Dies enge Wechselspiel führt zu einer erfolgreichen und raschen Entwicklung der Glasindustrie.

Fest wie Stahl

„Glück und Glas, wie leicht bricht das“, sagt ein bekanntes Sprichwort. Letzteres scheint berechtigt zu sein. Ein Ball zertrümmert mühelos eine Fensterscheibe, und ein Trinkglas wird beim Herunterfallen auf dem Boden zerschellen. Wir haben uns inzwischen daran gewöhnt, vom Glas nicht allzuviel Festigkeit zu erwarten, und behandeln es entsprechend. Es wird gegen-

wärtig kaum jemand auf die Idee kommen, eine Axt oder einen Lichtmast aus Glas herzustellen.

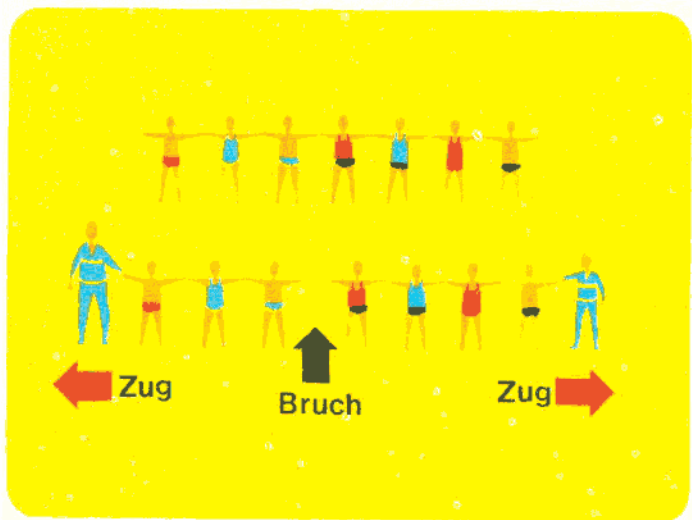
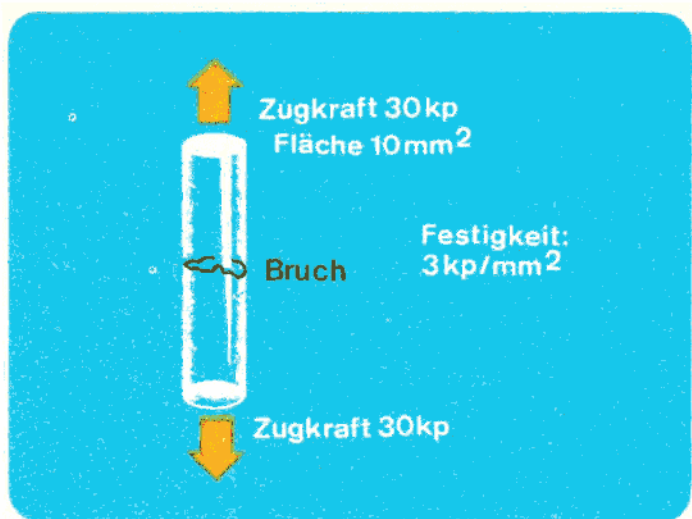
Die Anwendung von Glas verbietet sich überall dort, wo es zur Einwirkung größerer Kräfte kommen kann. Lichtmaste aus Glas wären sehr nützlich, da sie keiner chemischen Zerstörung unterliegen und keines Anstrichs bedürfen. Doch würde ein starker Schlag zum Bruch führen und zudem noch viele Scherben erzeugen.

Dennoch erfährt das Sprichwort Einschränkungen. Man ist heute durchaus in der Lage, die Festigkeit des Glases wesentlich zu erhöhen, so daß die von Stahl erreicht oder sogar übertroffen wird.

Wird ein Gegenstand aus Glas – zum Beispiel eine Glasscheibe – einer immer stärker werdenden Zugbelastung ausgesetzt, so wird er zunächst der Beanspruchung standhalten. Mit empfindlichen Meßinstrumenten wird man lediglich eine sehr geringe Dehnung feststellen. Wird die Belastung weiter gesteigert, so kommt es bei der Erreichung der Bruchgrenze an einer Stelle des Glases plötzlich zur Trennung der atomaren Bausteine, sie lösen sich voneinander, und aus dem einen Stück werden zwei oder mehr.

Ein Beispiel soll dies verdeutlichen. Eine Anzahl Kinder hält sich an den Händen, wobei sie eine langgestreckte Kette bilden. Nun treten zwei kräftige Männer an je ein Ende der Kette, fassen die noch freien Kinderhände und beginnen mit immer größer werdender Kraft zu ziehen. Zunächst wird sich die Kette nur dehnen, weil die meist

Ein Glasstab bricht bei Zug an seiner schwächsten Stelle. Dies verdeutlicht auch das Beispiel der „Kinderkette“



schräg nach unten gestreckten Kinderarme in die waagerechte Lage gehoben werden. An der Stelle, wo sich zwei Kinderhände am schwächsten gefaßt haben, wird es schließlich zur Trennung kommen, die Kette wird auseinandergerissen. Würde man die Kraft messen, die in diesem Augenblick von den Erwachsenen ausgeübt wird, so hätte man den zahlenmäßigen Wert für die „Zugfestigkeit einer Kinderkette“.

Ein solcher Bruch läßt sich auch bei einem Glasstab erzielen. Dazu müßte man den Stab an beiden Enden einspannen und in entgegengesetzter Richtung ziehen. Dabei entstehen Zugspannungen, die bei einer bestimmten Größe zum Bruch führen.

Druckspannungen werden erzeugt, wenn die Kräfte aufeinanderwirken, wenn beispielsweise ein Glasblock in einer Presse zusammengedrückt wird. Auch hierbei wird das Glas schließlich zerstört werden, doch benötigt man dazu viel größere Kräfte als beim Ziehen eines Stabes an beiden Enden.

Zwischen den atomaren Bausteinen des Glases herrschen Bindekräfte, die den Zusammenhalt und damit die Festigkeit bestimmen. Man kann diese Kräfte berechnen und erhält dabei erstaunlich hohe Werte, die man Glas niemals zugeordnet hätte. Glas verfügt also auf Grund seiner starken Bindekräfte über eine sehr große Festigkeit, zumindest sind diese hohen Werte theoretisch erreichbar. Glas wäre nach den Berechnungen etwa 25mal fester als der Baustahl! Diese Berechnungen werden durch Versuche mit Glas jedoch nicht bestätigt. Die tatsächliche Zugfestigkeit liegt wesentlich niedriger.

Damit tauchen zwei wichtige Fragen auf. Weshalb ist das Glas, so wie wir es kennen, viel weniger fest, als es auf Grund seiner Bindekräfte sein müßte? Und wie ist es möglich, die geringe Festigkeit des Glases der berechneten anzunähern? Können wir die erste Frage beantworten, so müßten sich auch Wege zur Lösung der zweiten ergeben.

Glas besitzt sehr interessante und teilweise einmalige Eigenschaften. Es ist durchsichtig, chemisch sehr beständig, temperaturbeständig und kann billig in unbegrenzter Menge hergestellt werden, was man von vielen anderen Werkstoffen nicht sagen kann. Leider ist seine Anwendung durch die geringen Festigkeitswerte eingeschränkt. Eine Erhöhung der Glasfestigkeit ist also ein sehr wichtiges Problem und von wirtschaftlich größter Bedeutung.

Glas gehört zu den spröden Stoffen. Wird die Belastung zu groß, so zerbricht das Glas ganz plötzlich, ohne sich vorher sichtbar verformt zu haben. Ein Eisennagel wird sich zuerst verbiegen, ein Blech zuvor einbeulen, bevor beide durch Bruch zerstört werden. Sie sind nicht spröde.

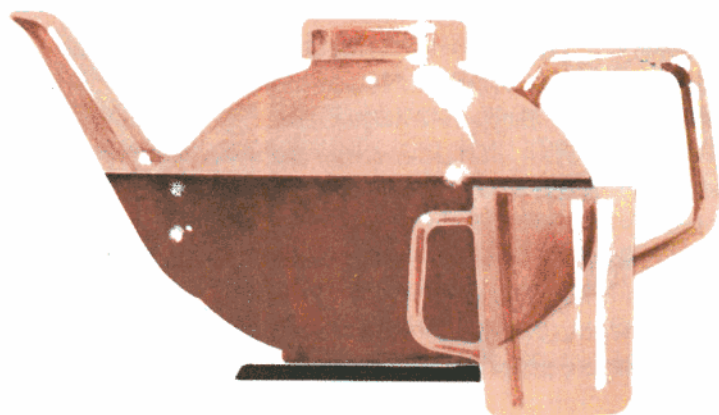
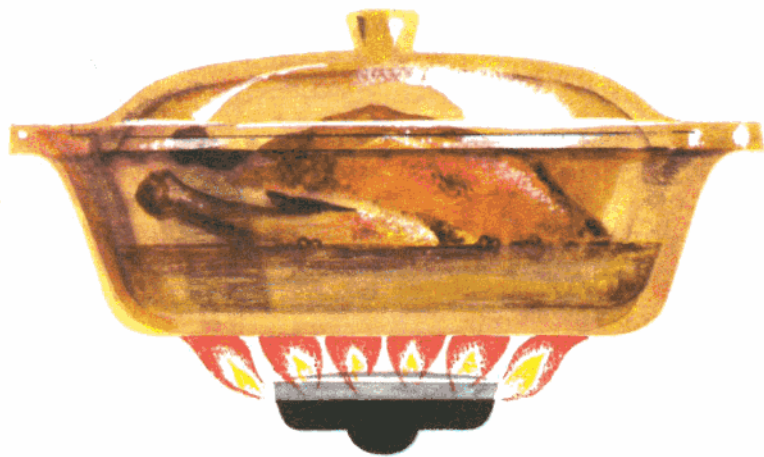
Glas ist aber auch elastisch. Wirkt auf einen elastischen Stoff eine Kraft ein, so verformt er sich mehr oder weniger. Hört die Einwirkung der Kraft auf, so wird auch die Verformung rückgängig gemacht, und der Körper nimmt wieder seine ursprüngliche Gestalt an. Wir können dies an einem Gummiband studieren, das sich dehnen läßt und sich dann wieder zusammenzieht.

Wie jeder weiß und sich durch einen Versuch leicht davon überzeugen kann, wird durch Anritzen eines

Glasstabes mit einer Feile an der Oberfläche eine kerbförmige Beschädigung erzeugt. An dieser Stelle läßt sich der Glasstab besonders leicht brechen. Man hat berechnet, daß an der Spitze solcher Kerben sich die außen angelegten Zugkräfte verstärken und schließlich so groß werden können, daß sie die errechneten hohen Festigkeitswerte erreichen. Tritt dieser Fall ein, so kommt es zu einer plötzlich stattfindenden Ausbreitung des Risses. Das Glas bricht, ohne daß eine sichtbare Verformung vorausgegangen wäre. Sind solche Oberflächenkerben sehr schmal, so wirken sie bereits bei sehr geringer Tiefe in der beschriebenen Weise. Wie man heute weiß, ist selbst der glatteste Glasstab an seiner Oberfläche von einer sehr großen Zahl solcher kleinsten, nicht einmal unter dem Mikroskop sichtbarer, Kerben bedeckt, die bei der Herstellung und Abkühlung des Glasgegenstandes entstanden sind. Wird das Glas einer Zugbeanspruchung ausgesetzt, wie es auch bei einem Stoß der Fall ist, so kommt es an allen Kerbspitzen zu einer sehr starken Erhöhung der Spannung. An der Stelle, wo die gesammelte Spannung die Bindekräfte der Glasbausteine überwindet, setzt der Bruch ein. Es sind also Oberflächenfehler beim Glas, die zu der deutlichen Abnahme der möglichen hohen Festigkeit beitragen.

Natürlich werden nur Zugkräfte auf die Kerbstelle bruchfördernd wirken. Druckkräfte haben kaum einen Einfluß, da sie gewissermaßen die Kerben an der Ober-

Das feuerfeste Haushaltsglas des VEB Jenaer Glaswerke Schott & Gen. wird durch thermisches Verfestigen hergestellt



fläche zusammendrücken und unschädlich werden lassen. Die Zugfestigkeit eines Glases ist deshalb bedeutend geringer als die Druckfestigkeit. Wir können auf einer am Boden liegenden Glasplatte unbesorgt gehen, sie wird nicht zerbrechen.

Wenn also Oberflächenfehler bei Glas den Bruch desselben begünstigen, müssen wir die Glasoberfläche beeinflussen. Nämlich so, daß die Wirkung der dort vorhandenen kleinsten Kerben gemindert wird. Dann wird es möglich, das Glas zu verfestigen, das heißt also, wir können die bekannte geringe Festigkeit erhöhen.

Dies kann einmal in der Weise geschehen, daß man eine dünne Oberflächenschicht des Glaskörpers mit bleibenden Druckspannungen versieht. Denn die Druckspannung wird vom Glas ohne Schaden ertragen. Zu diesem Zweck erhitzt man den Glaskörper bis dicht zur Erweichungstemperatur (verformen darf er sich nicht). Durch Anblasen mit einem kräftigen Preßluftstrom wird der erhitzte Glaskörper schnell abgekühlt. Da die Oberfläche rascher abkühlt als das Innere, ziehen sich die einzelnen Schichten des Glases unterschiedlich stark zusammen. Nach dem Abkühlen liegen an der Oberfläche demnach Druckspannungen vor, im Inneren dagegen Zugspannungen. Die Zugspannungen im Glaskern stören nicht, denn hier befinden sich keine Kerbstellen. Diese sind an der Oberfläche. Das Glas ist bruchfester geworden, denn die Druckspannungen an seiner Oberfläche können den kleinen Oberflächenkerben nichts anhaben.

Wird auf ein durch Abschrecken verfestigtes Glas von außen eine Zugspannung angelegt, so werden zu-

nächst die dort befindlichen Druckspannungen an der Oberfläche gemindert, ehe sich bei weiterer Belastung Zugspannungen über die Kerbstellen des Glases auf die Festigkeit auswirken können. Stellen wir uns ein Ruderboot auf einem Fluß vor. Wollen wir es gegen die Strömung bewegen, so müssen wir zunächst den Druck des fließenden Wassers überwinden, der das Boot in die entgegengesetzte Richtung zu bewegen versucht. Wir brauchen zum Rudern mehr Kraft, als wenn wir dies auf einem See ohne Strömung tun.

Die genannte Art der Festigkeitssteigerung ist bereits seit langer Zeit bekannt. Man wandte sie an, ohne zunächst über die sich dabei abspielenden Vorgänge Bescheid zu wissen. Industriell genutzt wurde das einfache Verfahren erstmals durch Otto Schott. Er verfestigte dadurch Manometerrohre und Wasserstandsgläser, wie sie an Dampfkesseln benötigt werden.

Heute spielt diese (thermische) Verfestigung von Glaserzeugnissen eine bedeutende Rolle. Flachglasscheiben, Gefäße und andere Glasgegenstände können dadurch auf das 5- bis 10fache der ursprünglichen Festigkeit gebracht werden. Sie zerbrechen also bei Schlag oder Stoß weniger leicht. Wenn allerdings an einer Stelle der Bruch einsetzt, so zersplittert das gesamte Glas augenblicklich in viele kleine Krümel, die aber nicht scharfkantig sind, wie es sonst bei Glasbrüchen der Fall ist. Diese Erscheinung nutzt man zur Herstellung von Einscheibensicherheitsglas. Dieses besondere Glas findet bei Fahrzeugen Verwendung, um die Verletzungsgefahr bei Unfällen zu mindern.

Inzwischen ist ein weiteres Verfahren zur Verfestigung

durch Ausbildung einer Druckspannung an der Glasoberfläche entwickelt worden. Durch einen chemischen Vorgang tauscht man an der Oberfläche des Glasgegenstandes kleine Glasbausteine gegen größere aus. Man wendet Temperaturen an, bei denen das Glas noch starr und unnachgiebig ist. Daher müssen die in die Oberflächenschicht eintretenden größeren Bausteine ihre „Ellenbogen gebrauchen“, um Platz zu finden. Sie drücken auf ihrem Weg nach allen Seiten und erzeugen so eine Druckspannung.

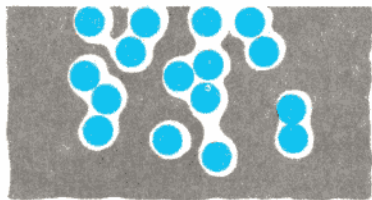
Die Glasgegenstände geeigneter Zusammensetzung bringt man dazu längere Zeit in eine Kaliumnitratschmelze. Die großen Kaliumionen verdrängen aus der Glasoberfläche die kleineren Natriumionen und erzeugen eine Druckspannung. Dieses Verfahren ermöglicht hohe Festigkeitswerte, so daß die Festigkeit von Stahl durchaus erreicht werden kann. Eine derart verfestigte Glasscheibe läßt sich stark biegen, ohne dabei zu zerbrechen. Ein Hammer, gegen eine verfestigte Scheibe geschlagen, federt zurück und läßt die Scheibe meist unversehrt. Durch Versuche und Berechnungen konnte also auch hier ein Verfahren entwickelt werden, was zur Qualitätssteigerung des Glases und zu weiteren Anwendungsmöglichkeiten führte.

Eine dritte Möglichkeit zur Festigkeitserhöhung des Glases besteht in der Beseitigung der Kerbstellen an der Oberfläche oder wenigstens in ihrer Verkleinerung. Dies ist durch eine Behandlung mit verdünnter Fluß-

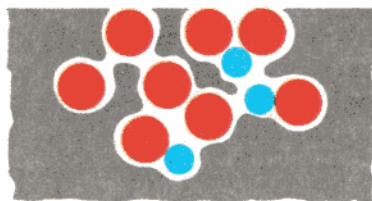
Verfestigung von Glas durch Austausch von Ionen an der Oberfläche



Vor dem Austausch
keine Druckspannungen



Nach dem Austausch
starke Druckspannungen



 große Kaliumionen
 kleine Natriumionen

säure möglich. Flußsäure greift Glas an und ätzt die Oberfläche ab. Die Säure beseitigt damit einen Teil der dort befindlichen Kerbstellen. Dadurch lassen sich recht hohe Festigkeitswerte des Glases erzielen. Allerdings ist das Arbeiten mit den benötigten großen Flußsäuremengen unbequem, weshalb man in der Industrie eines der beiden erstgenannten Verfahren bevorzugt. Die Möglichkeiten der Festigkeitssteigerung haben dazu beigetragen, Glas vielfältiger zu verwenden. Verfestigte Fensterscheiben halten höhere Beanspruchungen aus, verfestigte Flaschen sind leichter wegen ihrer geringeren Wandstärke. Sie verringern das Transportgewicht beträchtlich. Verfestigte Brillengläser vermindern die Gefahr der Augenverletzung durch Glassplitter.

Die bisher erzielten Ergebnisse in der Qualitätssteigerung von Glas sind sehr erfreulich, man darf sie aber auch nicht überschätzen. Ein Glas mit der Zugfestigkeit eines Baustahls kann den Baustahl meist nicht ersetzen. Der Stahl ist nämlich widerstandsfähiger gegenüber plötzlichen Beanspruchungen. Werden die auf ihn einwirkenden Kräfte zu groß, so verformt er sich zunächst, etwa durch Verbiegen. Verfestigtes Glas bleibt aber genauso spröde wie unverfestigtes und wird gegen Stoß und Schlag recht empfindlich reagieren und plötzlich sowie ohne vorherige Verformung brechen.

Es geht um die Flasche

Man braucht eine Flasche, um Flüssigkeiten aufzubewahren und zu transportieren. Dies gilt heute und war

auch vor vielen tausend Jahren nicht anders. Doch haben Material und Aussehen solcher Gefäße eine starke Wandlung erfahren.

Ursprünglich war der Mensch zur Herstellung von Gefäßen auf natürliche Vorkommen angewiesen. Funde in aller Welt geben davon Zeugnis und reichen bis weit in die Menschheitsgeschichte zurück. Zunächst höhlt man Früchte aus, die eine harte Schale besaßen, und konnte in ihnen Flüssigkeiten aufbewahren. Aus Tierhäuten wurden Schläuche genäht. Man lernte Steine bearbeiten und später Metalle zu Hohlgefäßen formen.

Sehr alt ist die Kunst des Töpfers, der aus dem Ton verzierte Gefäße gestaltete und sie im Feuer brannte, um sie fest und beständig zu machen. Noch heute schätzt man Gefäße aus Metall und Keramik, doch sind sie inzwischen durch solche aus Glas in ihrer Zahl und Bedeutung zurückgedrängt worden.

Das Glas wird durch die üblichen Flüssigkeiten nicht angegriffen und beeinträchtigt deshalb nicht deren Geschmack. Es ist durchsichtig und läßt daher den Inhalt erkennen.

Doch war ein weiter Weg zurückzulegen von den ersten Glasgefäßen der Ägypter bis zu der Massenproduktion von Flaschen und Gläsern in unserer Zeit. Dieser Weg wurde bestimmt durch die Entwicklung der Technik. Voraussetzung war die Herstellung großer Glasmengen von gleichbleibender Beschaffenheit und der Einsatz von schnellen Fertigungsverfahren mit Maschinen. So entwickelte sich dieses Erzeugnis von einem kostspieligen Luxusgegenstand zu einem preiswerten Mas-

senartikel. Auf diese Weise konnten die Bedürfnisse der Bevölkerung befriedigt werden.

Vor mehreren tausend Jahren gelang zunächst die Herstellung einer sehr zähen und ungleichmäßig zusammengesetzten Glasmasse. Das Formen von Hohlgefäßen war aus diesem Grunde sehr erschwert. Wir hörten bereits von der Sandkerntechnik der alten Ägypter. Aus lehmigem Sand wurde ein Kern hergestellt, der das Innere des Glasgefäßes bilden sollte. Nach seiner Verfestigung durch Brennen wurde er mit der zähen Glasmasse überzogen. Anschließend zerstieß man den Kern und entfernte ihn aus der erstarrten Glasmasse, wodurch ein hohles Gefäß zurückblieb. Diese Arbeiten waren sehr mühevoll, da für jedes Gefäß ein neuer Kern angefertigt werden mußte. Zudem mußte man auf die Herstellung von Gefäßen mit engen Hälsen von vornherein verzichten, weil bei diesen Formen der Sandkern nicht mehr zu entfernen war. Nach der Sandkerntechnik hergestellte Gefäße waren sehr kostspielig und konnten so nur von den Reichen erworben werden. Man gab solche Glasgefäße auch als kostbare Grabausstattung bei. Derartige Funde geben Auskunft über Aussehen und Form der Gefäße in dieser Zeit.

Als um die Zeitenwende die Glasmacherpfeife erfunden wurde, bedeutete dies einen umwälzenden Fortschritt. Vielfältige Möglichkeiten zur Formgebung der Glaschmelze eröffneten sich. Da die Schmelze bereits in verbesserten Herden geschmolzen wurde, war sie

Glasmacher fertigen mit der Glasmacherpfeife schöne Hohlgefäße



weniger zähflüssig. Durch das Aufblasen der formbaren Glasmasse gelang viel leichter die Herstellung von bauchigen oder langgestreckten Flaschen mit engem Hals. Infolge des Gebrauchs von zusammenklappbaren Formen aus Holz oder Eisen wurden Gefäße von gleichbleibender Gestalt und Größe hergestellt. Handwerkliches Können und künstlerisches Geschick der Glasbläser ließen herrliche Flaschen und Gefäße entstehen, die man noch heute in Museen bewundern kann.

Über einen Zeitraum von etwa 1800 Jahren änderte sich an dem Herstellungsverfahren von Hohlgefäßen nichts. Wohl wurde die Herstellung der Schmelze verbessert, doch immer blieb die Formgebung Handarbeit. Die Herstellung von Glasgefäßen war daher in ihrer Menge beschränkt. Allerdings lernte man, die Oberfläche der durch das Blasen mit der Glasmacherpfeife erhaltenen Flaschen, Krüge, Becher und Pokale auf das prächtigste zu schmücken. Dies geschah durch nachträgliches Aufbringen von Glasfäden, durch Einbrennen beständiger Farben und durch den Glasschnitt, der wundervolle Darstellungen ermöglichte. Glas war ein kostbarer Werkstoff, der deshalb auch meist eine künstlerische Gestaltung und Oberflächenbehandlung erfuhr. Besonders seit dem späten Mittelalter mit der Herausbildung eines städtischen Bürgertums und höfischer Pracht und Verschwendung spielten künstlerisch verzierte Glasgefäße eine wachsende Rolle. Den Armen waren sie jedoch vorenthalten. Sie mußten sich weiterhin mit Holz-, Ton- und anderen Gefäßen, die für sie schon teuer genug waren, begnügen.

Die industrielle Revolution führte dann aber zu einer

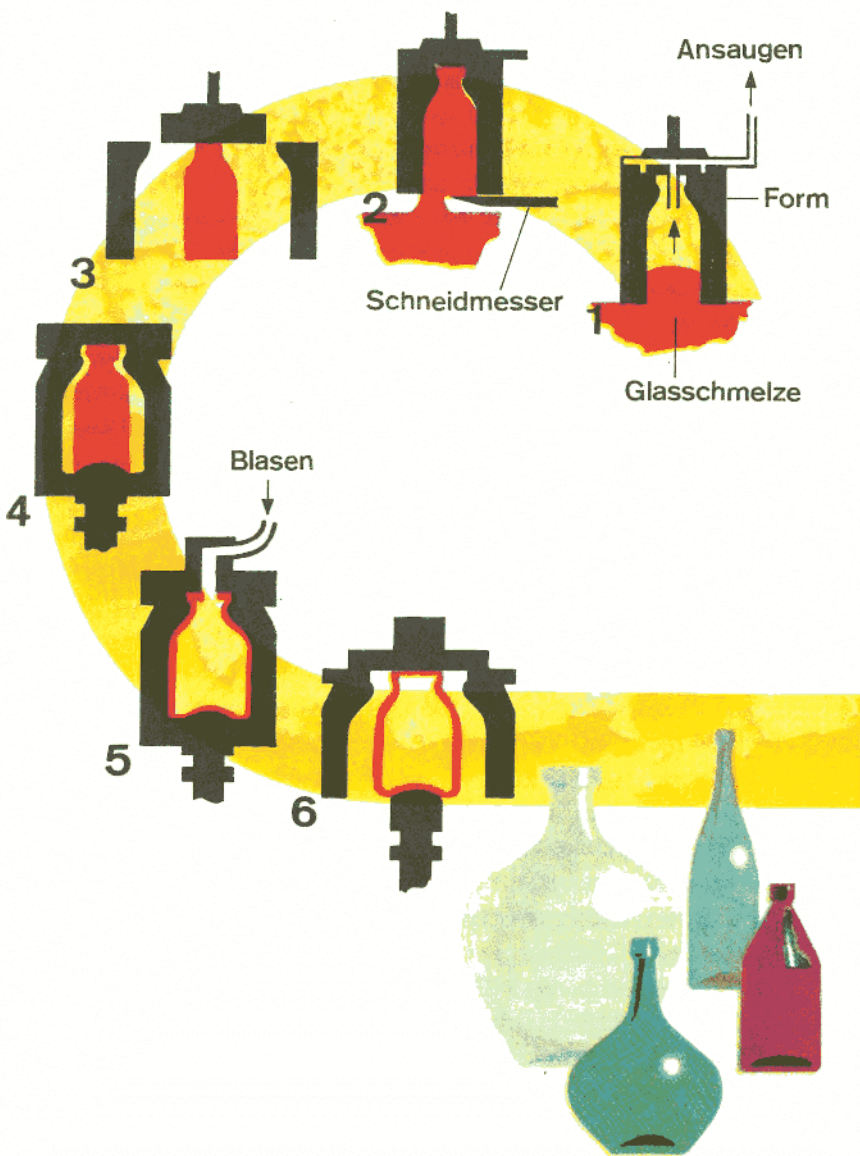
raschen Entwicklung der Technik. Diese machte auch vor den Glashütten nicht halt. Zur Zeit der gesellschaftlichen Umwälzungen um die Wende des 18. zum 19. Jahrhundert waren die Glashütten überwiegend im Besitz kapitalistischer Unternehmer und vergrößerten sich ständig. Während man Mitte des 19. Jahrhunderts begann, das Glas in Wannen zu schmelzen, und dadurch mehr und ununterbrochen produzierte, wurde die Verarbeitung noch überwiegend handwerklich durchgeführt. Dadurch konnte immer weniger dem wachsenden Bedarf an Glasgefäßen entsprochen werden. Die Zeit war reif für Veränderungen.

Um die Mitte des 19. Jahrhunderts wurden erste Versuche unternommen, Hohlgefäße mit Hilfe von Maschinen aus der Schmelze herzustellen. Doch erst 1900 gelang es dem Amerikaner Owens, eine vollautomatisch arbeitende Flaschenblasmaschine zu bauen und in Betrieb zu nehmen. Damit wurde eine sprunghafte Steigerung bei der Herstellung von Hohlgefäßen möglich. Glas wurde zum Massenartikel und begann in vielfältiger Weise Handel, Haushalt und Industrie zu beeinflussen.

Michael Owens stammte aus einer Bergarbeiterfamilie. Der karge Lohn des Vaters reichte nicht zum Unterhalt der Familie. Deshalb war der Junge im Alter von 10 Jahren gezwungen mitzuarbeiten, um mitzuverdienen. Zuerst verrichtete er, wie viele Kinder in jener Zeit, eine schlecht bezahlte Arbeit in einer Glashütte. Mit 15 Jahren wurde er Glasbläser. Täglich stand er nun auf der Arbeitsbühne vor der heißen Glaswanne und formte Flaschen und andere Gefäße. Dabei stellte er fest, daß

sich einzelne Arbeitsgänge ständig wiederholten. Sollte es nicht möglich sein, diese einzelnen und gleichbleibenden Schritte einer Maschine zu übertragen? Immer häufiger beschäftigte ihn dieser Gedanke. Er begann Bücher zu studieren, um sein technisches Wissen zu festigen und zu erweitern. Zu Hause entwarf er Zeichnungen, stellte Berechnungen an. Der Besitzer der Glashütte wurde auf den jungen Mann aufmerksam. Nicht daß er Michael Owens helfen wollte. Nein, ihm war klar, daß eine Maschine mehr und billiger produzieren würde, als bisher möglich war. Er wollte, daß Owens eine solche Maschine entwickelt, damit er als Besitzer der Fabrik zu bedeutend mehr Reichtum gelangen könnte. Bald stand Owens nicht mehr mit der Glasmacherpfeife vor der Wanne, sondern wurde mit der Entwicklung dieser Maschine beauftragt. Viele Jahre vergingen für ihn mit angestrenzter Arbeit und vielen Versuchen. Immer neue Schwierigkeiten traten auf, die gelöst werden mußten. Endlich war es soweit. 1900 war die erste Maschine fertig und nahm den Probetrieb auf. Doch sie mußte weiter verbessert werden. Erst die fünfte Maschine war 1904 so weit ausgereift, daß mit einer regelmäßigen Produktion begonnen werden konnte. Sie erfüllte die in sie gesteckten Erwartungen. Täglich stellte sie 1000 Flaschen her. Obwohl solche Automaten inzwischen wesentlich verbessert worden sind und heute ein Vielfaches von dem der ersten

Die Herstellung von Flaschen durch Maschinen. 1 Ansaugen der Glasschmelze, 2 Abschneiden der Schmelze, 3 Wechseln der Form, 4 Schließen der Form, 5 Blasen, 6 Abnehmen der Form



Maschine leisten, ist das Grundverfahren beibehalten worden. Die größten Maschinen stellen heute in 24 Stunden 60 000 Flaschen her. Mehr als 300 Arbeiter wären notwendig, wollte man diese Menge in der gleichen Zeit durch mühselige Handarbeit formen.

Die Owens-Maschinen arbeiten nach dem Saug-Blas-Verfahren. Sie bestehen aus einem großen drehbaren Gestell und besitzen bis zu 15 beweglich angeordnete Arme, an denen jeweils eine Flasche entsteht.

Während sich das Gestell mit den Armen ruckweise dreht, laufen die einzelnen Arbeitsgänge vom Ansaugen der Schmelze bis zum Abstellen der fertigen Flasche auf die Kühlbahn nacheinander ohne Eingriff eines Menschen ab.

Zunächst wird die eiserne Saugform in die Schmelze getaucht und über eine Leitung das flüssige Glas angesaugt. Der nächste Takt hebt die gefüllte Saugform aus der Schmelze. Ein Messer schneidet das unten noch hervorquellende Glas ab. Dann öffnet sich die zweiteilige Form, wobei der Glasposten in Gestalt eines großen Tropfens einen Augenblick an seiner oberen Befestigung frei herunterhängt. Jedoch schon beim nächsten Takt wird er durch die zusammenklappbare und größere Blasform umschlossen, deren Höhlung der äußeren Gestalt der Flasche entspricht. Durch die oben angebrachte Zuleitung, die zuvor das Ansaugen übernommen hatte, wird nun Preßluft in den Glasposten gedrückt. Dadurch wird die noch weiche Glasmasse an die Wandungen der Form gepreßt. Nach dem Erstarren öffnen sich die beiden Hälften der Blasform. Die fertige Flasche wird von der oberen Halterung abgesprengt,

eine Gasflamme rundet die scharfen Kanten ab, und die Flasche wird auf einem sich langsam bewegenden Band durch den Kühltunnel transportiert.

Die einzelnen Arbeitsgänge des Automaten müssen nicht nur sorgfältig aufeinander abgestimmt sein, wichtig ist auch die immer gleichbleibende Qualität der Glasschmelze. Ein Glasbläser kann Unterschiede in der Zähigkeit der Schmelze durch seine Geschicklichkeit ausgleichen. Die Maschine dagegen nimmt das schmelzflüssige Glas, wie es ist, und verarbeitet es in immer der gleichen Weise. Weicht die Schmelze von den festgelegten Eigenschaftsnormen ab, so stellt die Maschine Ausschuß her.

Die ständige Zusammenführung mit der heißen Schmelze und der Standort vor der Wanne stellen zusätzliche Anforderungen an den Werkstoff und die Maschinenteile. Die sich ruckweise bewegenden Stahlteile und das Zischen der Luft beim Ansaugen und Eindrücken verursachen allerdings Lärm. Doch die Tätigkeit der Glasarbeiter ist durch den Einsatz dieser Maschinen viel leichter geworden. Ihre Aufgabe besteht in der Hauptsache darin, die Automaten zu überwachen und Störungen während des Betriebes zu verhindern.

Neben der Owens-Maschine sind weitere Automaten entwickelt worden, die die Herstellung von großen und qualitätsvollen Glaserzeugnissen übernehmen. Beim Preß-Blas-Verfahren fließt die Schmelze über eine Zuführung aus der Wanne und wird in bestimmten Mengen in die Preßform der Maschine gefüllt. Anschließend wird der vorgeformte Preßkörper in der Blasform

durch Druckluft in die endgültige Gestalt gebracht. Es gibt auch die Möglichkeit, die Schmelze schon in der Vorform aufzublasen und später in der Fertigform die Formung zu beenden. Man spricht in diesem Fall von einem Blas-Blas-Verfahren.

Die Glaserzeugnisse können dick- oder dünnwandig hergestellt werden. Dickwandige Flaschen sind zwar recht unempfindlich gegenüber Schlag und Stoß, doch vergrößern sie sehr stark das Transportgewicht. Die Erhöhung der Festigkeit wird durch das Abschreckverfahren erreicht. Dadurch ist es möglich, die Wandstärke der Glaserzeugnisse wesentlich zu verringern, so daß die Flaschen nur noch die Hälfte wiegen.

Man kann auch unmittelbar nach der Formgebung bestimmte Lösungen auf die Oberfläche des noch rotglühenden Glases sprühen. Sie zersetzen sich und hinterlassen eine durchsichtige festigkeitserhöhende Schicht.

Schließlich wird noch eine weitere Möglichkeit erprobt. Beim Transport und besonders auf den Bändern von Abfüllautomaten stoßen die Flaschen häufig aneinander, so daß ihre Festigkeit stark abnimmt. Der Bruch einer Flasche im Abfüllautomaten hat nicht nur den Verlust der in die Flasche gefüllten Flüssigkeit zur Folge. Die Scherben können die Maschine blockieren, und es kommt zu Stillstandszeiten. Wenn man nun die Flaschen mit einer sehr dünnen Plastschicht überzieht, so schützt diese das Glas vor Oberflächenbeschädigung.

Haushaltsglas



gen und vermindert die Bruchgefahr. Die Entwicklung der Hohlglasfertigung ist also nicht abgeschlossen.

Als die Gaslampe durch die Glühlampe abgelöst wurde, bedeutete dies zum Beispiel für die Glasindustrie, die großen Stückzahlen von Glühlampenkolben billig herzustellen. Von Hand wäre dies unmöglich gewesen. Auch hier übernahmen ab 1910 Automaten die Fertigung. Modernste Maschinen erzeugen heute etwa 10 Glaskolben in einer Sekunde – eine beinahe unvorstellbare Leistung. Hierzu war die Anwendung eines völlig neuen Verfahrens notwendig. Die Glasschmelze fließt in ständigem Strom aus der Wanne und wird durch eine Walze zu einem schmalen und flachen Band gedrückt, das nun auf ein mit großer Geschwindigkeit laufendes Lochband gelangt. Die über den Löchern befindliche Schmelze sinkt etwas nach unten und wird dann durch gleichzeitig bewegte Blasköpfe in darunter befindliche Formen geblasen. Die fertig geformten Kolben werden abgesprengt und durch die Kühlbahn transportiert. Alles muß mit äußerster Genauigkeit geschehen, denn das Band bewegt sich etwa 1 Meter in der Sekunde vorwärts.

Gefäße mit weiter Öffnung und einer dickeren Wandung werden meist durch Pressen hergestellt. Eine abgemessene Glasmenge fließt in die Preßform aus Stahl oder anderen geeigneten Metallen. Durch einen Stempel wird die Schmelze verteilt und an die Formwand gedrückt. Teller, flache Schalen, dickwandige Trinkbecher und Kochgefäße erzeugt man auf diese Weise.

Ein Glaswerk ist heute ein Betrieb, in dem moderne Maschinen die Verarbeitung der Schmelze überneh-

men und die Arbeit der Glasmacher erleichtern. Dennoch ist der Glasbläser nicht überflüssig geworden. Der Einsatz der teuren Automaten ist wie gesagt nur dann angebracht, wenn von einem Erzeugnis große Stückzahlen hergestellt werden und die Maschinen voll ausgelastet sind. Wenn nur kleine Mengen an Glaserzeugnissen von oft komplizierter Form benötigt werden, dann wird der erfahrene Glasbläser die Herstellung übernehmen.

Dünnere als ein Haar

Es bereitet keine besondere Schwierigkeit, eine dünne Glasfaser herzustellen. Jeder kann es auf einfache Weise selbst tun. Man hält das Mittelstück eines Glasstabes über eine Gasflamme. Ist es ausreichend weich geworden, so zieht man die beiden Enden des Stabes rasch auseinander. Es entsteht eine beide Enden verbindende Faser, die schnell erstarrt, aber sehr biegsam ist.

Eine solche Glasfaser ist aber weit mehr als ein langgestrecktes dünnes Glasstück. Sie unterscheidet sich in einigen Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten stark von dem üblichen Glas und hat deshalb eine große Bedeutung erlangt.

Schon in früheren Zeiten stellte man Glasfasern durch Ausziehen von erhitzten Glasstäben her und benutzte sie zur Verzierung von Glasgefäßen. Ab 1930 entdeckte man in den Glasfäden einen vorzüglichen Baustoff. Allerdings war es notwendig, diese Glasfäden maschinell in Massen und billig herzustellen. Dafür wurde eine Reihe von Möglichkeiten entwickelt, wobei das

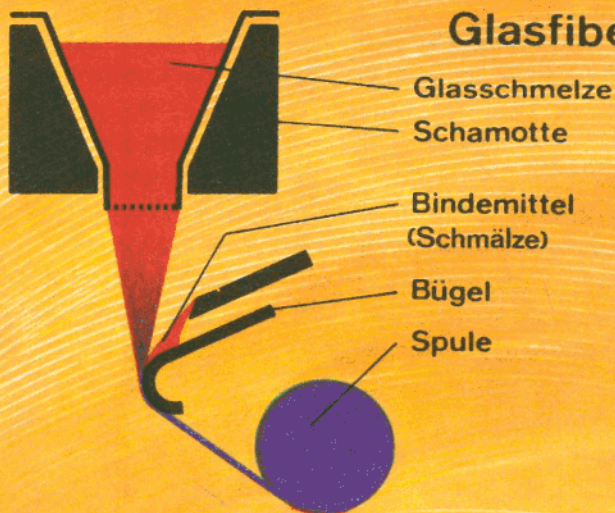
Stabziehverfahren noch heute üblich ist.

Die Glasseide besteht aus sehr langen Fäden, die häufig aus vielen dünnen Glasfasern zusammengefügt sind. Hier erfolgt die Herstellung ausschließlich durch Maschinen. Heute wird überwiegend das Düsenziehverfahren angewandt. Die Glasschmelze wird einer Wanne entnommen oder in einem kleinen elektrisch beheizten Platintrog aus Glaskugeln erzeugt. Die zuletzt genannte Möglichkeit hat den Vorteil, daß man durch Vorauswahl der Glaskugeln eine vollkommen gleichmäßige und blasenfreie Schmelze erhält, so daß die Glasfasern bei der Herstellung nicht reißen. Der Boden der kleinen Ausflußwanne enthält einige hundert feine Durchbohrungen, durch die die Glasschmelze nach außen tritt. Diese erstarrt sofort und wird auf eine sich schnell drehende Spule gewickelt, wie es auch bei der Herstellung von Kunstfasern der Fall ist. Meist werden 100 bis 400 Einzelfasern zu einem entsprechend dickeren Faden vereinigt. Dabei werden die Einzelfasern vorher mit einem Bindemittel benetzt, um eine bessere Haftung zu erzielen. Der ganze Vorgang läuft außerordentlich schnell ab – mit einer Ziehgeschwindigkeit von 1500 bis 3000 Metern in der Minute.

Es lassen sich auf diese Weise sehr dünne Fasern herstellen. Ihr Durchmesser beträgt im allgemeinen 0,005 bis 0,01 Millimeter, also weniger als den zehnten Teil eines Menschenhaares. Nach besonderen Verfahren lassen sich noch dünnere Fasern herstellen. Solche

Die Herstellung von Glasfibern nach dem Düsenziehverfahren und Erzeugnisse aus Glasfibern

Glasfiber



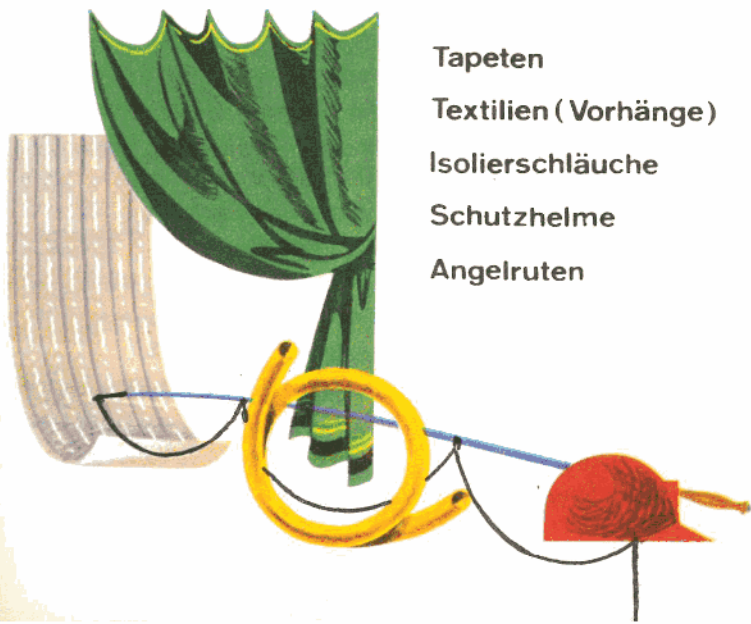
Tapeten

Textilien (Vorhänge)

Isolierschläuche

Schutzhelme

Angelruten



Superfeinfasern besitzen einen Durchmesser bis zu 0,001 Millimeter. Sie sind mit dem bloßen Auge kaum noch zu erkennen.

Schon vor längerer Zeit machte man die Entdeckung, daß sehr dünne Glasfäden eine ungewöhnlich hohe Zugfestigkeit aufweisen, die ein Vielfaches der von anderen Glaskörpern ausmacht. Je dünner die Faser ist, desto größer wird auch die Festigkeit. Daher lassen sich aus Glasfasern sehr feste Fäden und Gewebe herstellen, die zudem den Vorteil der Nichtbrennbarkeit, einer hohen Temperaturbeständigkeit und einer guten Wärmedämmung aufweisen. Glasseide in Form von Garnen, Matten und Geweben findet man deshalb überall dort, wo auf diese Eigenschaften großer Wert gelegt wird. Stoffe aus Glasseide unterscheiden sich äußerlich nicht von solchen aus Chemiefasern. Man könnte also ein Kleid oder einen Anzug aus Glasseide herstellen. Allerdings sind die Trageeigenschaften gegenüber den üblichen Textilfasern ungünstiger. Besonders unangenehm wäre die sehr geringe Fähigkeit zur Feuchtaufnahme und das wesentlich höhere Gewicht. Man käme sich in solchen Kleidern bald wie in einem Dampfbad vor und hätte auch wegen der hohen Dichte schwer daran zu tragen. Ein zweckmäßiger Einsatz ergibt sich aber in der Fertigung von Theatervorhängen oder Gardinen, die im Gegensatz zu den üblichen Textilien absolut unbrennbar sind. Da man Glasfasern auch farbig erzeugen kann, werden aus ihnen bereits Tapeten hergestellt, die schöne Muster aufweisen und sich durch Abwaschen reinigen lassen, so daß die Tapezierung eines Raumes kaum wiederholt zu werden braucht.

Die Anwendungsmöglichkeiten für Glasseideerzeugnisse sind heute keineswegs erschöpft. Wir werden ihnen in Zukunft immer häufiger begegnen.

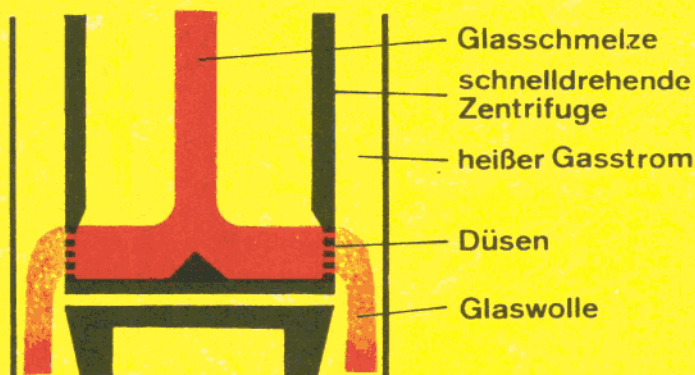
Man erhält kurze Glasfasern nach dem Schleuderverfahren (s. Bild S. 101). Man läßt Glasschmelze aus der Wanne auf eine sich schnell drehende Scheibe laufen. Durch sehr kleine Düsen in der Scheibe wird die Schmelze herausgedrückt, erstarrt sofort und wird von einem heißen Gasstrom mitgerissen. Es entsteht eine kurzfasrige Glaswolle, bei der die einzelnen Fasern einen Durchmesser von etwa 0,02 Millimetern aufweisen. Durch die lockere Packung enthält die Glaswolle viel Luft und ist deshalb sehr leicht und vorzüglich wärme- und schalldämmend. Außerdem ist die Glaswolle nicht brennbar, verrottet nicht und kann hohen Temperaturen ohne Veränderung widerstehen. Man verwendet sie in Form der lockeren Glaswolle, als Matten oder Filz bzw. durch Verkleben mit Bindemitteln als Platten überall dort, wo es auf eine gute Wärme- oder Schalldämmung ankommt. Dies kann im Bauwesen sein, beim Fahrzeugbau oder beim Heizungsrohrbau. Die mächtigen und kilometerlangen Fernheizungsleitungen sind mit einer Glaswollschicht umgeben, die nach außen durch eine Blechverkleidung geschützt wird. Ohne diese Isolation würde der eingegebene heiße Dampf schnell abkühlen und dann als lauwarmes Wasser in die Haushalte gelangen.

Es lag nahe, Glasfasern und Plaststoffe miteinander zu verknüpfen. Glasfasern verfügen über eine hohe Festigkeit, sind aber spröde und leicht zu beschädigen. Plaste besitzen zwar keine hohe Festigkeit, zeigen aber ein

ausgeprägtes plastisches Verhalten. Die Versuche hatten Erfolg. Heute haben sich die glasfaserverstärkten Plaste voll durchgesetzt. Ihre Bedeutung steigt ständig. Diese Werkstoffe verhalten sich äußerlich wie Plaste, doch weisen sie durch die eingelagerten Glasfasern eine wesentlich höhere Festigkeit und Elastizität auf. Man erhält Werkstoffe, die wie Stahl einsetzbar sind. Sie sind jedoch viel leichter und erleiden keine Beschädigung durch äußere Einflüsse. Wir begegnen ihnen daher schon sehr häufig. Wer kennt nicht die leichten und bequemen Schutzhelme der Arbeiter oder die sehr biegsamen Angelruten? Die gewellten und verschiedenfarbigen Platten zum Bau von Wartehäuschen oder die Balkonverkleidungen bestehen ebenso aus glasfaserverstärkten Plasten wie schlag- und stoßfeste Gehäuse bei stark beanspruchten Geräten. Boote mit einem Rumpf aus glasfaserverstärktem Plast verrotten im Wasser nicht und bedürfen keiner ständigen Pflege, wie es bei Holz oder Stahl notwendig ist. Heute baut man bereits Hochseeschiffe mit über 40 Meter Länge aus glasfaserverstärkten Plasten. Der Großteil der erzeugten Glasseide begegnet uns in dieser Verbindung mit Plasten. Ein Ende dieser Entwicklung ist nicht abzusehen. Die vorteilhafte Verknüpfung der günstigen Eigenschaften beider Bestandteile ließ einen Verbundwerkstoff mit neuen erwünschten Eigenschaften entstehen. Die Anwendungsmöglichkeiten nehmen immer mehr zu.

Die Herstellung von Glasfasern nach dem Schleuderverfahren und Erzeugnisse aus Glasfasern

Glasfaser



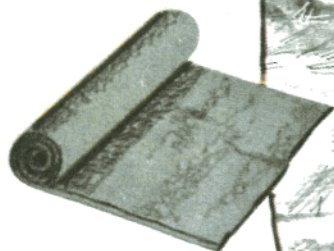
Glaswolle lose



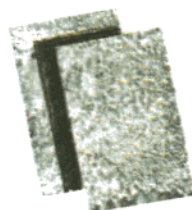
Glasfasermatte



Glasfaserschnur



Glasfaserfilz



Glasfaserplatten

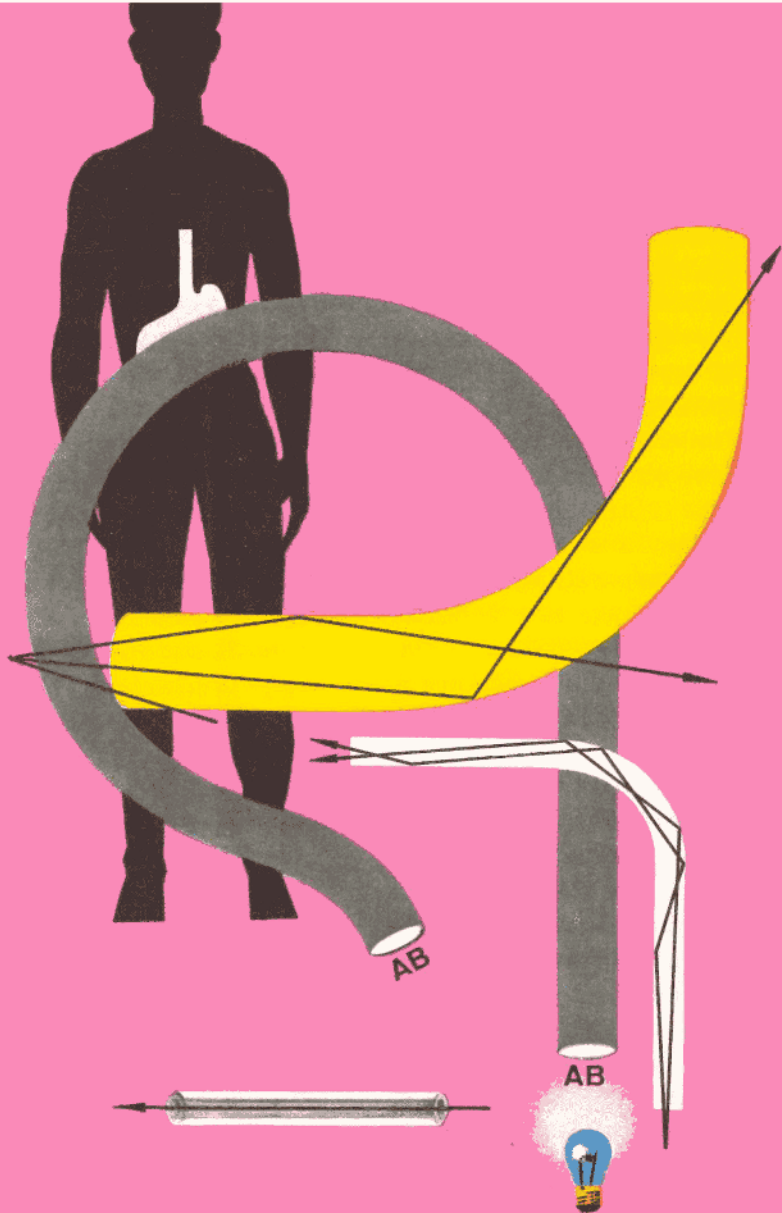
Die bisher genannten Anwendungen von Glasfasern würden schon ausreichen, um ihre große Bedeutung zu unterstreichen. Aber sie sind noch wesentlich vielseitiger. Man stellt aus ihnen Kabel her, mit denen man Licht „um die Ecke“ leiten oder Körper in einer sonst unzugänglichen Stelle sichtbar werden lassen kann. Glasfasern sind Bestandteil der optischen Licht- und Bildleitkabel.

Ein Glasstab ohne Hohlraum ist lichtdurchlässig. Man kann Licht durch solch einen Stab hindurchschicken. Er darf sogar leicht gekrümmt sein. Die sich geradlinig ausbreitenden Lichtstrahlen treffen dann unter einem sehr stumpfen Winkel auf die Grenzfläche des Glasstabes zur umgebenden Luft. Doch treten sie nicht aus dem Glas heraus, sondern werden in das Innere des Stabes zurückgeworfen. Man bezeichnet diesen Vorgang als Totalreflexion des Lichtes. In der Optik ist er seit langem bekannt.

Allerdings wird man feststellen müssen, daß trotzdem ein erheblicher Teil des Lichtes den Glasstab auf seinem Weg zur Endfläche vorher verläßt. Außerdem behält der Stab die ihm einmal gegebene Richtung oder Krümmung bei. Wollte man sie ändern, so müßte der Stab erhitzt und erneut gebogen werden.

Die Idee war deshalb sehr naheliegend, anstelle eines massiven Glasstabes dünne Glasfasern zu verwenden, die nebeneinandergelegt ein biegsames Kabel ergeben.

Licht wird durch Glasfasern geleitet. Dünne Glasfasern leiten das Licht auch um die Ecke. Liegen die Glasfasern im Kabel geordnet vor, so lassen sich Bilder übertragen (z. B. die Zeichen AB)



Außerdem kann so das Kabel stärker gekrümmt werden, ohne daß größere Lichtverluste eintreten. Solche Lichtleitkabel wurden bereits vor etwa 50 Jahren hergestellt und besonders von Ärzten benutzt. Mit Hilfe dieser Glasfaserkabel konnte Licht in innere Körperbereiche geleitet werden, um zu untersuchende Körperstellen auszuleuchten. Allerdings hatte diese Faseroptik den Mangel, daß noch sehr viel Licht auf dem Weg verloren ging, was auch auf die schlechte Qualität des zur Verfügung stehenden Glases zurückzuführen war.

Um 1950 machte man eine wichtige Erfindung. Die Lichtverluste lassen sich stark verringern, wenn man jede einzelne Faser mit einem Glasmantel umgibt. Dabei muß das Glas des Mantels einen geringeren Brechwert aufweisen als das des Kernes. Der Glasmantel wirkt wie eine Schutzhülle und sorgt dafür, daß sich das eingestrahlte Licht innerhalb der Faser ausbreitet, auch wenn sie stärkere Krümmungen aufweist. Da es inzwischen möglich war, Glas durch die Wahl sehr reiner Rohstoffe und durch die Anwendung sorgfältiger Schmelzbedingungen lichtdurchlässiger als bisher zu machen, ließen sich bereits meterlange Lichtleitkabel herstellen.

Liegen die einzelnen Fasern in einem Kabel nicht streng geordnet vor, so läßt sich nur das Licht übertragen. Man spricht in diesem Fall von einem Lichtleitkabel.

Bei den Bildleitkabeln kommt es darauf an, daß die einzelnen Fasern überall im Kabel die gleiche Lage zueinander aufweisen. Jetzt lassen sich auch Bilder übertragen. So fällt auf der einen Seite Licht auf eine Faser, und auf der anderen Seite tritt es wieder aus.

Dort, wo eine andere Faser nicht von einem Lichtstrahl getroffen wird und dunkel bleibt, wird sie auch am entgegengesetzten Ende keine Helligkeit ausstrahlen. Die Hell-Dunkel-Flächen eines Bildes werden also von den Fasern punktförmig aufgenommen und zum anderen Ende geführt. Hier erscheint das Bild in den gleichen Hell-Dunkel-Werten. Mit Hilfe solcher Bildleitkabel war nun der Arzt in der Lage, in verdeckte Körperhöhlen hineinzusehen. Wenn man den Magen eines Menschen mit einem Lichtleitkabel ausleuchtet, kann man das Innere mit einem Bildleitkabel betrachten und feststellen, ob sich an einer Stelle Krankheitsherde befinden (s. Bild S. 103).

Aber auch in vielen anderen Bereichen werden heute Lichtleit- und Bildleitkabel verwendet. Man kann mit ihrer Hilfe optische Signale von schwer zugänglichen Stellen übertragen und damit beispielsweise Maschinen steuern. Ein kreisförmiger Lichtpunkt läßt sich in einen viereckigen ändern, wenn man die Fasern im Kabel entsprechend anordnet. Im wissenschaftlichen Gerätebau und in der Steuer- und Regelungstechnik haben solche licht- oder bildleitenden Glasfaserbündel eine Bedeutung erlangt, die sie unersetzbar werden lassen.

Bisher wurden Anwendungsbeispiele genannt, die ihre Bewährungsprobe bereits bestanden haben.

Derzeitig werden Versuche unternommen, Glasfasern zur Übermittlung von Nachrichten auch über große Entfernungen einzusetzen. Man telefonierte heute in der Weise, daß die Sprache in der Sprechmuschel eines Telefonhörers in elektrische Signale umgewandelt

wird. Diese gelangen über den Leitungsdraht zum Bestimmungsort. Beim Empfänger des Gespräches werden die elektrischen Signale in Klangsignale zurückverwandelt. Man hört den Telefonierenden. Zukünftig will man anstelle des Drahtes hauchdünne Glasfasern verwenden. Sie lassen sich bequem verlegen und sind bedeutend haltbarer. Allerdings muß man die zu übermittelnden Sprachsignale des Telefonierenden in optische Signale umwandeln und in der Glasfaserleitung transportieren. Licht kann den Transport aber nicht übernehmen. Die Telefonleitungen wären dafür zu lang. Der Anruf würde beim Hörer nicht mehr anlangen. Deshalb wird man Laserstrahlung verwenden, die für die Übermittlung in den „Glasfaserdrähten“ geeigneter sind.

Gegenwärtig müssen aber noch viele Schwierigkeiten gelöst werden, um ein einwandfreies Telefonieren über Glasfaserleitungen zu gewährleisten. Doch zweifelt man nicht an dem Erfolg.

Wir sehen, daß Glas Aufgaben übernehmen kann, die man noch vor einigen Jahren als reine Hirngespinnste abgetan hätte. Zugleich zeigt das Beispiel der Glasfaser, in welchem umfangreichem Maße der Werkstoff Glas sich wandeln kann und Anwendungen zuläßt, die nur durch ihn möglich sind.

Das gläserne Chamäleon

Schlagen wir in einem Lexikon nach, so werden wir etwa folgendes lesen: Das Chamäleon ist eine 20 bis 30 Zentimeter große Echse, die auf Bäumen und Sträuchern in Afrika und Indien lebt. Es verfügt über die

seltene Fähigkeit, seine Körperfarbe in recht weitem Umfang zu ändern. Abhängig von der Beleuchtung, Temperatur oder beim Erschrecken kann es eine grüne, gelbe oder graue Färbung annehmen.

Was soll man aber von einem gläsernen Chamäleon erwarten, wie es die Überschrift zu diesem Kapitel verspricht? Sicherlich wird nicht die Nachbildung eines solchen Tieres aus Glas gemeint sein. Aber sollte es ein Glas geben, das wie ein Chamäleon in der Lage ist, seine Farbe zu wechseln? Dies erscheint doch sehr unwahrscheinlich.

Und doch ist es so. Seit einigen Jahren kennt man Gläser, die sich im Sonnenlicht dunkel färben und im Dunkeln wieder aufhellen. Ihre Herstellung wurde ermöglicht, nachdem man den Feinbau des Glases gründlich erforscht hatte und in der Lage war, bestimmte Veränderungen ganz gezielt vorzunehmen. Auf diese Weise erhielt man Gläser, die ein solches fotochromatisches Verhalten zeigen. Um die sich dabei abspielenden Vorgänge besser zu verstehen, müssen wir uns noch einmal mit dem Aufbau von Gläsern befassen.

Die üblichen Silikatgläser bestehen aus kleinsten Baueinheiten, den Silizium- und Sauerstoffatomen. Sie ordnen sich zu Tetraedern, die über die Ecken miteinander verknüpft sind, wobei sie ein unregelmäßiges Netzwerk bilden. Enthält das Glas zusätzlich andere Bestandteile, so ordnen sie sich in das Netzwerk ein und lockern es. Dies wirkt sich in einer Abnahme des Erweichungspunktes aus. Bis vor einiger Zeit nahm man an, daß das Glas überall die gleiche Zusammensetzung und

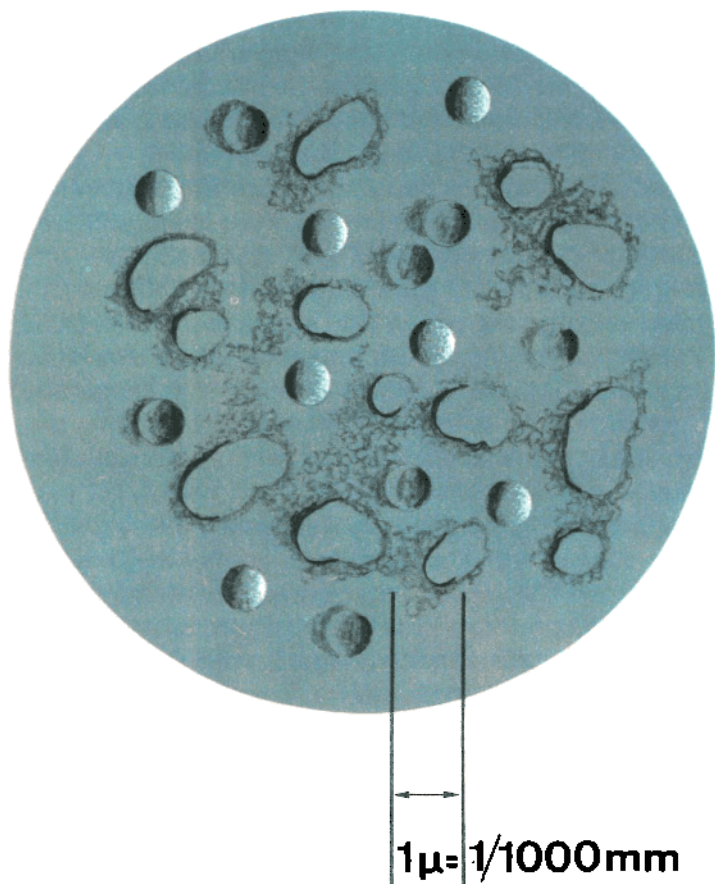
Struktur aufweist. Diese Annahme erschien durchaus vernünftig, denn mit den gebräuchlichen Mikroskopen betrachtet zeigte sich das Glas vollkommen klar und durchsichtig.

Verdeutlichen wir uns dies an einem Beispiel. Wir schauen von der Decke eines großen Saales, in dem gerade ein Skatturnier stattfindet, nach unten. Im ganzen Raum sind Tische aufgestellt, die zwar nicht nach dem Metermaß ausgerichtet, jedoch einigermaßen gleichmäßig über die Saalfläche verteilt sind. An jedem Tisch sitzen vier Spieler. Es sind auch Zuschauer anwesend. Sie haben hinter den Spielern Aufstellung genommen und „kiebitzen“, wie es in der Fachsprache der Skatspieler heißt. Wenn an allen Tischen etwa gleichmäßig gut oder schlecht gespielt wird, werden sich auch die Zuschauer ähnlich verteilt an den Tischen aufhalten. Ob nun an einem Tisch zufällig drei, an einem anderen dagegen fünf Zuschauer stehen, ist ohne Bedeutung. Von oben erblicken wir jedenfalls eine gleichmäßige „Zusammensetzung“ innerhalb des großen Saales, nämlich für jeden Tisch vier Spieler und durchschnittlich vier Zuschauer.

Dieser Eindruck ändert sich, sobald an einigen Spielischen besonders interessant gespielt wird. An anderen Tischen werden die „Kiebitze“ sehr schnell die Lust am weiteren Zuschauen verlieren und sich zu den Tischen begeben, wo gute Spieler sitzen. Wir erkennen jetzt aus unserer Sicht von oben eine Störung in der ur-

Das Elektronenmikroskop zeigt bei sehr starker Vergrößerung Entmischungen im Glas

Blick durch das Elektronenmikroskop



spränglich gleichmäßigen Verteilung. Tische und Spieler haben zwar ihre alten Plätze behalten, doch die Zuschauer sammeln sich an bestimmten Tischen. Wir könnten vergleichsweise sagen, es hat eine „Entmischung“ stattgefunden, verursacht durch die gerichtete Bewegung der Zuschauer. Die „Zusammensetzung“, das heißt die Zahl der Tische, Spieler und Zuschauer, hat sich innerhalb des Saales nicht verändert, ist jedoch örtlich unterschiedlich, indem sich die Zuschauer an bestimmten Stellen angesammelt haben.

Eine solche Entmischung kann sich bei bestimmten Gläsern abspielen. Die im Netzwerk beweglicheren Bestandteile ändern ihre Plätze, sammeln sich und führen dadurch die Entmischung herbei. Diese Entmischungsbezirke haben jetzt eine andere chemische Zusammensetzung als die Umgebung. Da sie meist so klein sind, daß sie im Glas nicht weiter auffallen und auch durch die üblichen Lichtmikroskope nicht sichtbar sind, wurde dieser Vorgang erst vor kurzem entdeckt.

Als man nämlich die Möglichkeit besaß, die sehr stark vergrößernden Elektronenmikroskope bei der Untersuchung von Gläsern einzusetzen, waren solche Entmischungsbezirke zu erkennen. Sie liegen meist in Gestalt kleinster Tröpfchen im Grundgerüst des Glases vor. Solche Entmischungen sind in ihrem Entstehen und ihrer Größe abhängig von der Zusammensetzung des Glases und seiner Wärmebehandlung. Darunter versteht man ein nachträgliches Erwärmen des geformten Glases unterhalb des Erweichungspunktes über eine bestimmte Zeit. Je höher die Temperatur und je länger

die Zeitdauer der Wärmebehandlung, desto stärker ist die Entmischung bei den Gläsern ausgeprägt. Dabei können die tröpfchenförmigen Entmischungsbezirke so groß werden, daß sie das durchfallende Licht zerstreuen, wodurch das Glas getrübt wird.

Weshalb haben wir uns mit den Entmischungserscheinungen an Gläsern so ausführlich beschäftigt? Wir wissen heute, daß sich Gläser mit fotochromatischem Verhalten während der Wärmebehandlung entmischen, also nebeneinanderliegende Bezirke unterschiedliche Zusammensetzung und damit auch unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. In solchen durch Entmischung gebildeten Tröpfchen können sich bestimmte Glaszusätze anreichern und eine sonst nicht gezeigte Wirkung entfalten.

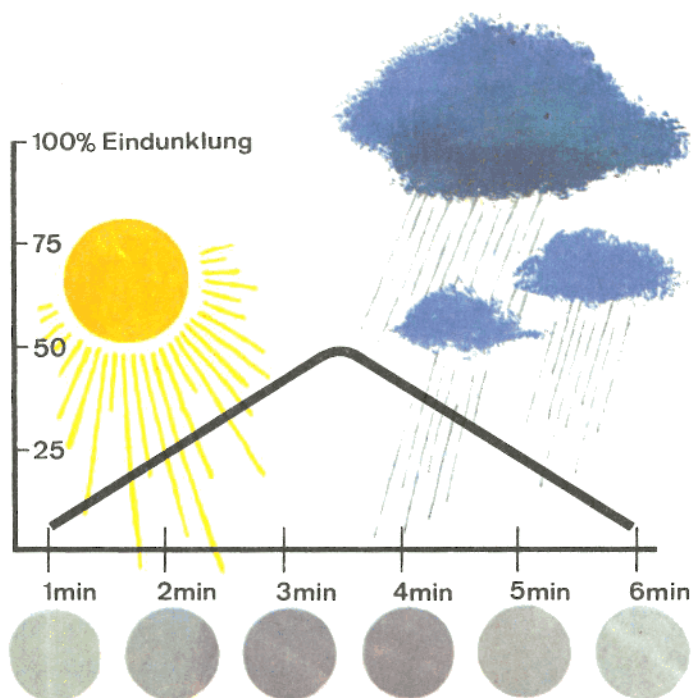
Gibt man zu Gläsern einer bestimmten Zusammensetzung und einem nachweisbaren Entmischungsverhalten geringe Mengen Silberchlorid, so sammelt sich dieser Zusatz während der Wärmebehandlung in den ausgeschiedenen Tröpfchen. Dabei ballen sich die Silberchloridmoleküle zusammen und bilden winzig kleine Kristalle.

Man weiß bereits sehr lange, daß Silberchlorid durch Licht zerlegt wird und dabei Silber- und Chloratome entstehen. Diesen Vorgang nutzt man bei der Fotografie. In der lichtempfindlichen Schicht des Filmes liegt Silberchlorid in feinverteilter Form vor. Wird während der Aufnahme belichtet, so fällt über die Linse des Fotoapparates Licht auf die Schicht. Entsprechend der Menge einfallenden Lichtes wird ein bestimmter Teil des Silberchlorids in seine Bestandteile zerlegt. Wäh-

rend der kurzen Belichtungszeit sind die Mengen so klein, daß man äußerlich einem belichteten Film nichts ansieht. Erst beim Entwickeln wirken die abgeschiedenen Silberatome als Verstärker und zerlegen um sich herum weiteres Silberchlorid, so daß alle die Stellen auf dem Negativfilm schwarz erscheinen, die vom Licht getroffen wurden.

Silber und Chlor verbinden sich aber auch sehr leicht miteinander zu Silberchlorid. Eigentlich müßte dieser Vorgang stattfinden, wenn kein Licht auf die Fotoschicht fällt. Aus der Fotoschicht kann jedoch das gasförmige Chlor sofort entweichen, so daß das Silber als Metall zurückbleibt.

Im fotochromatischen Glas verläuft der Vorgang zunächst ähnlich. Durch das eindringende Licht wird das Silberchlorid in Silber und Chlor zerlegt, wobei das feinverteilte Silber das Glas dunkel färbt. Im Gegensatz zum Fotofilm kann das Chlor aus dem starren Glasgerüst nicht entweichen. Chlor und Silber bleiben unmittelbar benachbart. Deshalb können sie wieder die Verbindung zu Silberchlorid eingehen. Fällt die Sonnenstrahlung stark und lange auf das Glas, so bildet sich auch viel Silber, und die Eindunklung des Glases wird sehr stark sein, wobei es aber immer eine bestimmte Grenze gibt. Je mehr Silber und Chlor entstehen, desto schneller erfolgt wieder die Verbindung zu Silberchlorid, bis sich schließlich beide Vorgänge die Waage halten und das Glas seine Färbung somit nicht mehr ändert. Dies ist erst dann wieder der Fall, wenn die Menge des eingestrahnten Lichtes verstärkt oder verringert wird. Dann wird das Glas dunkler oder heller. Läßt man überhaupt



Fotochromatisches Glas färbt sich bei Sonnenlicht dunkel und hellt sich bei trübem Wetter wieder auf

kein Licht mehr auf das Glas fallen, so vereinigen sich schließlich alle Silber- und Chloratome zu Silberchlorid, und das Glas wird völlig hell und klar.

Wichtig für die Herstellung von Gläsern mit fotochromatischem Verhalten ist die Tatsache, daß sich die geschilderten Vorgänge beliebig oft wiederholen können. Man hat fotochromatische Gläser über Jahre hinweg immer wieder den verschiedensten Lichteinflüssen unterzogen. Es konnte keine Ermüdung festgestellt werden. Die Aufhellung oder Eindunklung war bei entsprechenden Lichtverhältnissen immer gleich stark. Bei anderen Stoffen, die ebenfalls ein fotochromatisches Verhalten aufweisen, ist das nicht der Fall. Deshalb sind Gläser mit fotochromatischen Eigenschaften besonders wertvoll.

Fotochromatisches Glas wird seit kurzer Zeit im VEB Jenaer Glaswerk Schott & Gen. unter der Bezeichnung Heliovar hergestellt. Es wird in erster Linie als Augenschutzglas eingesetzt. Eine Brille, die mit Heliovargläsern ausgerüstet ist, paßt sich in ihrer Lichtdurchlässigkeit den Strahlungsverhältnissen der Umgebung an. In einem schlecht erleuchteten Raum sind die Gläser völlig hell und lassen alles Licht passieren. In der Sonne jedoch färben sie sich nach kurzer Zeit dunkel, und zwar um so mehr, je stärker die Sonnenstrahlung ausfällt. Dadurch schützen diese Gläser die Augen selbsttätig vor einer zu großen Blendung.

Neben der Verwendung als Augenschutzglas ergeben sich heute bereits weitere Möglichkeiten des Einsatzes fotochromatischer Gläser. Man kann beispielsweise das Glas als Datenspeicher verwenden. Durch einen

starken Lichtstrahl werden Signale als schwarze Punkte auf eine Platte aus fotochromatischem Glas gebracht. Da die Silberchloridkristalle äußerst klein sind, lassen sich zahlreiche Zeichen auf so eine kleine Platte aufbringen. Benötigt man die Daten nicht mehr, so kann man sie durch eine andere langwellige Strahlung löschen. Neue Signale können auf dieser fotochromatischen Glasplatte aufgezeichnet werden.

Wir hörten bereits von Fensterscheiben, bei denen eine aufgedampfte dünne Metallschicht die lästige Wärmestrahlung zurückhält, so daß die Räumlichkeiten auch bei starker Sonneneinstrahlung eine angenehme Temperatur behalten.

Man kann sich solche Scheiben auch aus fotochromatischem Glas vorstellen. Sie würden bei starker Sonnenstrahlung dunkler und ließen weniger Licht in den Raum. An trüben Tagen wären sie völlig klar und hell und ermöglichten dem Licht einen ungehinderten Zutritt in den Raum. Allerdings ist die Herstellung von solch großen Scheiben aus fotochromatischem Glas noch sehr schwierig. Es wird nach neuen Wegen gesucht, die die Massenproduktion solcher Gläser ermöglichen.

Bei der Beurteilung der fotochromatischen Gläser darf nicht vergessen werden, daß sie erst vor etwa 25 Jahren bekannt wurden und noch gar nicht lange in größerem Umfange industriell produziert werden. Für diese kurze Zeit ist das bisher erzielte Ergebnis beachtlich. Doch die weiteren Forschungsarbeiten werden das fotochromatische Verhalten der Gläser verbessern und deren Herstellung erleichtern.

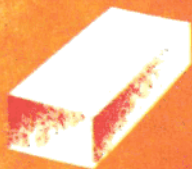
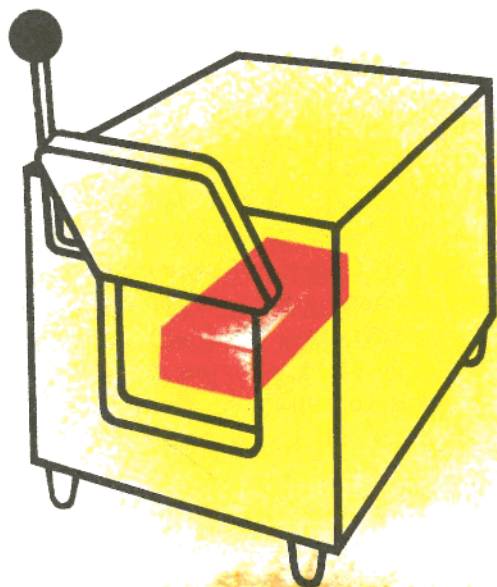
Kristallisiertes Glas?

Kristallisiertes Glas – diese Bezeichnung erscheint unsinnig, weil sie aus zwei sich gegenseitig ausschließenden Begriffen besteht. Man wird auch nicht von einem schwarzen Schimmel oder einem hölzernen Eisen sprechen. Wir wissen inzwischen, daß sich das Glas durch seinen nichtkristallinen Zustand von anderen Stoffen unterscheidet.

Es kann aber durchaus kristallisieren, daran ist nichts Ungewöhnliches. Doch dann handelt es sich nicht mehr um Glas.

Unsere üblichen Gläser werden in einer Weise behandelt, daß sie auch nach dem Erstarren aus der Schmelze in der glasigen Zustandsform verbleiben. Die große Zähigkeit behindert die Ausbildung eines geordneten Kristallgitters. Wenn sich unter bestimmten Umständen dennoch Kristalle bilden, so ergibt dies in den meisten Fällen Glasfehler, die eine weitere Verwendung des Glases unmöglich machen können.

Führt man aber die Kristallisation absichtlich herbei, wobei man auf die Bildung ganz bestimmter Kristalle hinlenkt, so ergeben sich keramische Stoffe mit sehr interessanten Eigenschaften. Man spricht von glaskeramischen Werkstoffen oder Vitrokeramen. Sie weisen den Vorteil auf, daß man aus der glasigen Schmelze heraus die üblichen Verfahren der Formgebung vornehmen kann. Durch eine anschließende Wärmebehandlung kommt es zu einer gesteuerten Kristalli-



900°
Proben
milchig-weiß
getrübt

sation, wie der Fachausdruck dafür heißt. Dadurch wird ein mehr oder weniger großer Teil des Glaskörpers in Kristalle bestimmter Zusammensetzung umgewandelt.

Die Geburtsstunde der Glaskeramiken fällt in das Jahr 1957. Damals experimentierten Wissenschaftler mit besonderen Gläsern. Durch Bestrahlung konnte eine Kristallisation hervorgerufen werden. Dazu wurden die bestrahlten Gläser auf etwa 600 Grad erhitzt. Bei diesen Versuchen versagte an einem Wärmeofen der Temperaturregler, und die Ofentemperatur hatte bereits 900 Grad erreicht, als man den Schaden bemerkte. Man glaubte zunächst, diese Proben seien völlig verdorben und bei den hohen Temperaturen auseinandergeflossen. Doch man stellte überrascht fest, daß sie völlig kristallisiert waren, deshalb milchig-weiß aussahen und ihre ursprüngliche Gestalt unverändert beibehalten hatten. Die Forscher untersuchten diese Proben und die Ursachen ihrer Entstehung weiter. Die Eigenschaften waren sehr interessant. Man hatte durch einen zufälligen Umstand einen neuen Werkstoff entdeckt, der sich durch eine gezielte Umwandlung von Glas zu Kristallen bildet.

Heute kennt man eine große Zahl von verschiedenen glaskeramischen Werkstoffen. Verschiedene werden bereits in beträchtlichen Mengen produziert. Da man die Zusammensetzung, Zahl und Größe der entstehenden Kristalle in weiten Grenzen verändern kann, sind auch die Eigenschaften der Vitrokerame sehr unterschiedlich und vielseitig. Das ermöglicht wiederum die verschiedensten Anwendungen.

Die Herstellung von Vitrokeramen ist recht einfach. Durch Einschmelzen des Gemenges wird zunächst eine Glasschmelze von bestimmter Zusammensetzung hergestellt. Diese läßt sich über die für Glas geeigneten Arbeitsverfahren formen und erstarrt dann, vollkommen durchsichtig. Man kann aber auch geringe Mengen von Stoffen zugeben, die den Kristallisationsvorgang beim anschließenden Wiedererwärmen des Glases auslösen und in bestimmter Weise ablaufen lassen. Diese Stoffe sind Keimbildner, die zunächst in der Schmelze gelöst vorliegen. Beim Abkühlen scheiden sie sich jedoch in so feiner Verteilung aus, daß sie die Durchsichtigkeit des Glases nicht mindern. Wird nun erwärmt, so beginnt an jedem dieser Keime das Wachsen eines Kristalls. Da dies zu gleicher Zeit geschieht und die Bedingungen gleichbleiben, sind die entstehenden Kristalle auch gleich groß. Der Entglasungsprozeß erfolgt bei Temperaturen zwischen 700 und 800 Grad Celsius. Die ausgeschiedenen Kristalle machen das Erzeugnis meist undurchsichtig.

Was kann man mit solchen Vitrokeramen anfangen? Schließlich entscheidet immer die Anwendung über den Nutzen eines neuen Werkstoffes. Und diese hängt wiederum von den Eigenschaften ab, die in der Hauptsache von der Art und der Menge der entstandenen Kristalle bestimmt werden. Es gibt solche Vitrokerame, die beim Erhitzen keine Längenausdehnung und beim Abkühlen keine Schrumpfung aufweisen. Ein daraus hergestellter Gegenstand läßt sich bis zur Rotglut erhitzen und unvermittelt in kaltes Wasser stecken. Während gewöhnliches Glas eine so schroffe Behandlung nicht

erträgt und sofort zerspringt, übersteht das Vitrokeram diesen plötzlichen Temperaturwechsel unbeschädigt. Aus solchen Glaskeramiken stellt man bereits seit einiger Zeit Kochgeschirre her, die auf der offenen Flamme erhitzt werden können. Man kann diese Kochgeschirre auch als Tafelgeschirr verwenden, da sie formschön gestaltet sind. Es ist gelungen, solche temperaturfesten Vitrokerame auch durchsichtig wie Glas herzustellen.

Eine andere Anwendung besteht in der Abdeckung von elektrischen Kochstellen, zum Beispiel bei Haushalts-herden. Im Gegensatz zu solchen aus Metall werden diese chemisch nicht zerstört. Wegen ihrer glatten Oberfläche lassen sie sich auch leicht säubern. Aufspritzendes Wasser führt nicht zum Sprung. Schließlich ist gerade hier wichtig, daß Vitrokerame den elektrischen Strom nicht leiten und ein Defekt des elektrischen Heizleiters somit keine Gefahr bedeutet.

Mit Vitrokeramen abgedeckte Labortische weisen den Vorteil einer hohen Beständigkeit gegenüber Temperaturwechsel, chemischen Prozessen und mechanischen Einwirkungen auf.

Sehr wichtig für die großen Spiegel von Fernrohren ist, daß sie keiner Wärmedehnung unterliegen. Wir hörten schon von solchen Giganten, die über einen Durchmesser von 6 Metern verfügen können und die Erforschung fernster Gestirne ermöglichen. Unabhängig von der jeweils herrschenden Temperatur bleiben die Abmessungen eines solchen mit größter Genauigkeit hergestellten Spiegels unverändert, so daß bei den meist stundenlangen Beobachtungszeiten die Bilder keine Verzerrungen zeigen und gut auszuwerten sind.

Vitrokerame anderer chemischer Zusammensetzung können einen sehr hohen elektrischen Widerstand aufweisen oder eine höhere Festigkeit als das Glas, aus dem sie hergestellt wurden. Sie lassen sich auch in ihrem Ausdehnungsverhalten verschiedenen Metallen anpassen. So überzieht man zum Beispiel die Innenflächen von Großbehältern, wie sie in der chemischen Industrie zum Einsatz kommen, mit einem Glas, das durch anschließendes Erwärmen in ein Vitrokeram umgewandelt wird. Sein Ausdehnungsverhalten gegenüber Wärmeeinflüssen entspricht dem des Metalles. So kommt es nicht zum Abplatzen der schützenden Schicht bei einem schroffen Temperaturwechsel.

Wir erkennen an diesen wenigen Beispielen, daß sich Vitrokerame in der recht kurzen Zeit ihrer Entwicklung vielfach bewährt haben. Doch von Gläsern und den üblichen Vitrokeramen weiß man, daß sie sich nur sehr schwierig nachträglich bearbeiten lassen. Besonders die Vitrokerame können sehr fest sein, so daß eine Bearbeitung, wie Bohren, Schleifen oder Schneiden, kaum möglich ist. Seit kurzer Zeit hat man auch hier durch Forschungsarbeiten einen Ausweg gefunden und Vitrokerame entwickelt, die gerade in dieser Hinsicht ein ungewöhnliches Verhalten zeigen. Sie lassen sich nämlich leichter als die meisten anderen Metalle durch Bohren, Schneiden, Drehen oder Fräsen bearbeiten. Man kann in sie Gewinde schneiden oder von ihnen dünne Schichten entfernen, wenn es für die weitere Verwendung erforderlich ist. Dies ist gerade im Maschinenbau sehr wesentlich, wo es auf eine leichte, aber genaue Bearbeitung der Teilstücke ankommt. Die

Möglichkeit dieser nachträglichen Bearbeitung von Vitrokeramen wird noch weitere neue Anwendungsbereiche erschließen.

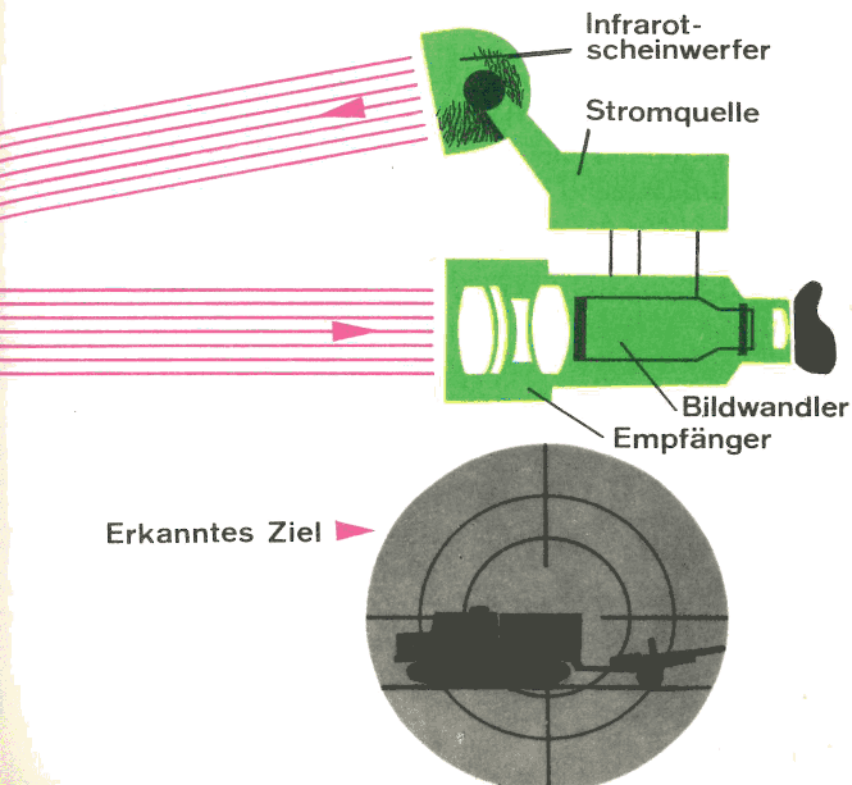
Es ist nicht übertrieben, wenn Vitrokerame als die Werkstoffe der Zukunft angesehen werden. Gerade die beinahe unbegrenzte Wandlungsfähigkeit und die Anpassung des Materials an bestimmte Forderungen sprechen dafür.

Licht aus dem Dunkel

Ein Kampfpanzer hat sich geschickt in einer flachen Mulde aufgestellt. Nur der Turm mit der Kanone ragt heraus und erlaubt die Kontrolle der etwa 600 Meter entfernten Straße. Stockdunkel ist die Nacht, der Himmel durch tiefhängende Wolken verdeckt. Es sind Truppenbewegungen des Manöverfeindes gemeldet, die auf der Straße erfolgen sollen. Der Auftrag für die Besatzung des Kampfpanzers lautet: Erkundung feindlicher Truppenbewegungen und Zerschlagung der Fahrzeugkolonne.

Es herrscht Stille, nur der Nachtwind rüttelt an den Bäumen und Sträuchern. Der Panzerkommandant hat seiner Mannschaft absolute Ruhe befohlen. Er horcht in die Nacht hinaus. Waren das nicht eben leise Motorengeräusche aus der Richtung der Straße? Er kann sich getäuscht haben, der starke Wind trägt die Laute fort. „Infrarotscheinwerfer einschalten!“ befiehlt der Unterleutnant. Man hört nur das leise Knacken eines

Infrarotdurchlässiges Glas ermöglicht das Sehen bei Nacht



Schaltknopfes. Kein Lichtstrahl durchdringt die Finsternis. Doch auf dem Leuchtschirm im Inneren des Panzers erscheinen deutlich die Umrisse einer Lastwagenkolonne, die sich unbeleuchtet auf der Straße bewegt. Man hat die feindliche Manövertruppe entdeckt!

In der anschließenden Auswertung des Manövers wird festgestellt, daß der Unterleutnant und seine Besatzung den Kampfauftrag erfolgreich erfüllt haben. Die feindliche Fahrzeugkolonne wurde am weiteren Vormarsch gehindert.

Was hat diese Geschichte aus einer Gefechtsübung der NVA mit Glas zu tun? Nun, wir werden sehen, daß der geschilderte Verlauf ohne Verwendung spezieller Gläser überhaupt nicht hätte stattfinden können. Denn alles spielte sich bei Dunkelheit ab. Trotzdem fuhren die Lastwagen des Manövergegners und wurden von der Panzerbesatzung erkannt. Hätte man sich nur auf das menschliche Auge verlassen müssen, so wäre nichts zu erkennen gewesen – falls man nicht mit lichtstarken Scheinwerfern gearbeitet hätte. Doch diese hätten den Gegner aufmerksam gemacht, ihn gewarnt und den eigenen Standort verraten.

Das sichtbare Licht besteht aus einer Strahlung von unterschiedlichen Wellenlängen. Beiderseits dieses Bereichs gibt es auch Strahlungsanteile, die wir mit dem Auge nicht wahrnehmen können. Das ist zum Beispiel das langwellige Infrarot. Es wird höchstens als Wärme bemerkt. Infrarotstrahlung verhält sich wie sichtbares Licht, es wird zurückgeworfen und gebrochen. Mit seiner Hilfe lassen sich deshalb interessante

und wichtige Anwendungen verwirklichen. Allerdings braucht man dazu Gläser, die nur für diese Strahlung durchlässig sind.

Im Scheinwerfer des Panzers befindet sich eine Lichtquelle, die sichtbares Licht und Infrarotstrahlung erzeugt. Eine schwarze Filterscheibe aus einem besonderen Glas läßt nur die unsichtbare Infrarotstrahlung durchtreten. Diese Strahlung traf in dem geschilderten Manöver auf die Kraftwagen des Gegners. Dort wurde sie zurückgeworfen und in dem Bildwandler des Panzers sichtbar gemacht.

Die üblichen optischen und technischen Gläser lassen sichtbares Licht und einen Teil der benachbarten Infrarotstrahlung passieren. Infrarotfiltergläser sind jedoch völlig anders zusammengesetzt. Sie erscheinen rot bis schwarz, weil sie das sichtbare Licht aufnehmen. Dafür sind sie aber für die infrarote Strahlung gut durchlässig.

Überall dort, wo man Infrarotstrahlung benötigt, werden derartige Filtergläser notwendig. Die Wissenschaft benutzt infrarote Strahlung für bestimmte Untersuchungen. Auch zur Sicherung gegen Einbrüche und Diebstähle läßt sich die unsichtbare Infrarotstrahlung verwenden. Dazu ordnet man eine Infrarotquelle so an, daß die Strahlung quer durch die zu sichernde Räumlichkeit auf einen kleinen Empfänger fällt. Wird die Strahlung unterbrochen, indem jemand den Strahlungsweg kreuzt, so kommt es zur Auslösung eines weithin hörbaren Signals. Da die Strahlung unsichtbar ist, wird man nicht auf sie aufmerksam, wie es bei Licht der Fall wäre.

Gläser leiten den elektrischen Strom nicht oder nur wenig. Metalle dagegen sind gute elektrische Leiter. Bei ihnen befinden sich im Kristallgitter viele freie Elektronen, die sich beim Anlegen einer äußeren Spannung im Gitter leicht bewegen und damit die Leitung des elektrischen Stromes verursachen. Die Elektronen der Bausteine des Glasnetzwerkes sind dagegen recht fest gebunden und nicht beweglich. Aus diesem Grunde ist ein Strom durch Elektronenleitung nicht möglich.

In jüngster Zeit hat man aber in das Glasnetzwerk solche Elemente eingebaut (Vanadium, Selen oder Tellur), die leicht Elektronen abgeben oder aufnehmen. Dadurch wird die elektrische Leitfähigkeit ermöglicht. Man spricht in diesem Fall von elektronenleitenden Gläsern oder Halbleitergläsern.

Mit solchen Gläsern kann man einzelne Elektronen vervielfältigen. Man legt an ein Rohr aus elektronenleitendem Glas von vielleicht 50 Zentimeter Länge eine Spannung von beispielsweise 2500 Volt. Tritt nun ein einzelnes Lichtteilchen von außen kommend in das Rohr ein, so wird es unter dem Einfluß der außen angelegten hohen Spannung beschleunigt und bald auf die innere Rohrwandung stoßen. Dabei werden aus dem Glas einige leicht bewegliche Elektronen freigebracht, ebenfalls beschleunigt und ihrerseits auf die Rohrwandung prallen. Nun wird bereits eine größere Elektronenmenge frei werden, und so geht es fort, bis das Rohr durchlaufen ist und aus dem einen Elektron

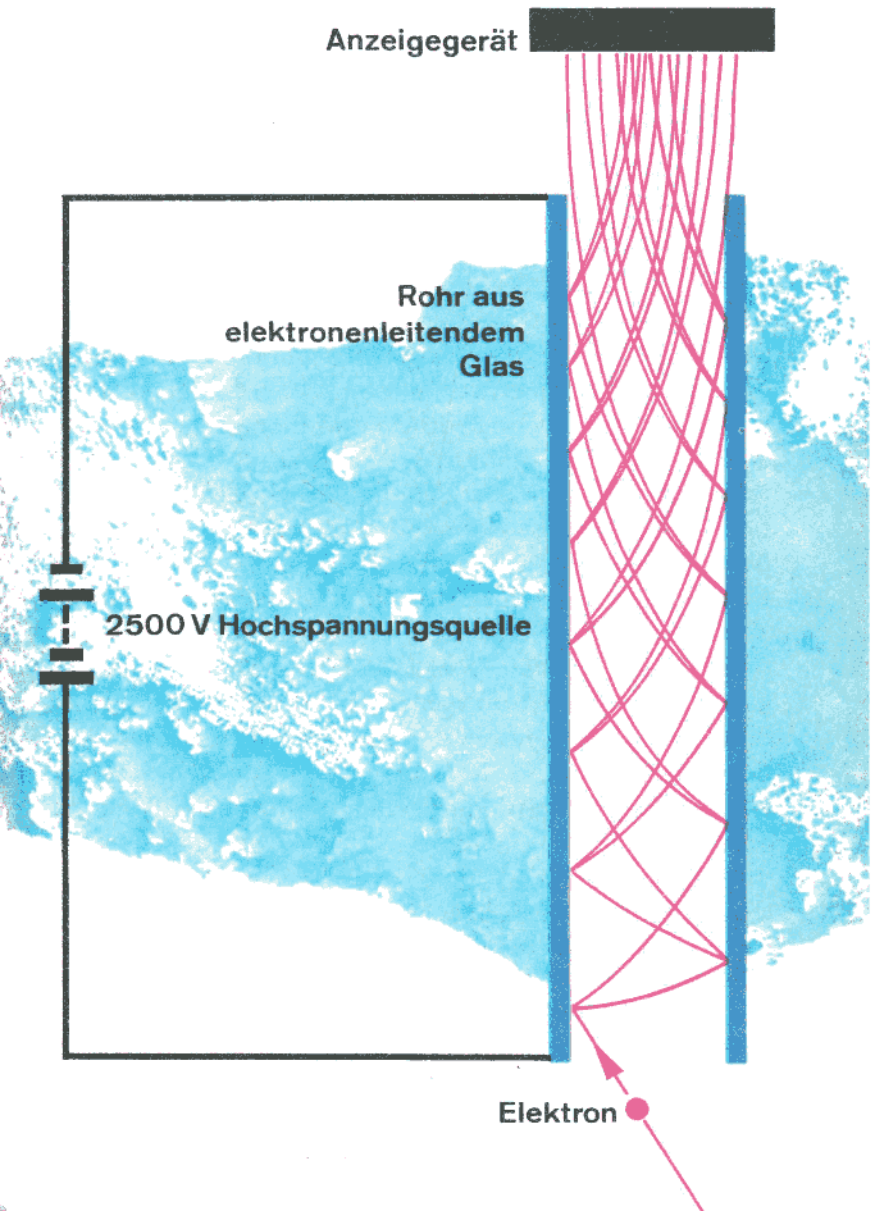
Elektronenleitende Gläser verstärken eine einfallende Strahlung

Anzeigegerät

Rohr aus
elektronenleitendem
Glas

2500 V Hochspannungsquelle

Elektron



unter Umständen viele Millionen geworden sind, die auf einem entsprechenden Anzeigegerät festgestellt werden können. Man spricht in diesem Fall von einem Sekundärelektronenvervielfacher.

Eine interessante Anwendung ergibt sich wiederum als Nachtsichtgerät. Im Gegensatz zu dem eingangs genannten Beispiel macht sich hier die Aussendung einer Infrarotstrahlung überflüssig. Der Empfänger besteht aus vielen nebeneinander angeordneten kleinen Elektronenvervielfachern. Meist wird auch in der Nacht noch etwas Helligkeit vorhanden sein. Sie kann von den Sternen stammen oder durch den Lichterschein einer entfernten Stadt hervorgerufen werden. Von einem Gegenstand treten also die zurückgeworfenen Lichtteilchen in den Vervielfacher und werden hier in der geschilderten Weise verstärkt. Wo viel Licht auf den Empfänger zurückgeworfen wird, wird die Verstärkung auch deutlicher ausfallen. Im Nachtsichtgerät kann man die davor befindlichen Gegenstände erblicken, auch wenn es sehr dunkel ist.

Solche Geräte haben in der Militärtechnik und auch in der Kriminalistik Bedeutung erlangt. Jägern wird es dadurch ermöglicht, in der Nacht Fährten und Wild zu entdecken.

Rohre, nichts als Rohre

Ein Bericht über das Glas und seine Anwendungen wäre ohne eine Erwähnung von Rohren unvollständig. Sie dienen nicht nur dem Transport von Flüssigkeiten und Gasen, sondern sind auch das Ausgangsmaterial vieler anderer Erzeugnisse.

Rohre aus Glas sind seit langem bekannt und wurden bis in unser Jahrhundert hinein ausschließlich von Hand hergestellt. Wieder diente dazu die Glasmacherpfeife als Werkzeug. Der Glasmacher nahm mit ihr aus der Schmelze einen größeren Glasposten und formte ihn durch Wälzen auf einer ebenen Platte zu einem länglichen Gebilde. Das etwas erkaltete Glas wurde erneut mit der Pfeife in die Schmelze gebracht und dadurch die Glasmenge an der Pfeife vergrößert. Wieder erhielt das Glas durch Wälzen die Form, wobei durch Einblasen von Luft ein Hohlraum ausgebildet wurde. Dies konnte noch einmal wiederholt werden. In der Zwischenzeit hatte ein zweiter Arbeiter an dem Heftisen ein abgeplattetes Glasstück, einen sogenannten Nabel, angebracht. Der Nabel wurde nun an das Ende des an der Pfeife befindlichen zähen Glasklumpens geklebt. Während der Glasmacher kräftig in das Mundstück der Pfeife blies, zog der andere Arbeiter durch schnelles Zurückgehen das Glas zu einem Rohr auseinander. Dieses konnte viele Meter lang sein. Die Arbeit sah beim Zuschauen recht einfach aus, doch gehörte viel Können und Geschick dazu, auf diese Art ein Rohr von gewünschtem Durchmesser und einer einheitlichen Wanddicke herzustellen. Es war eine körperlich schwere Tätigkeit, weil große Glasmenge gehandhabt wurden.

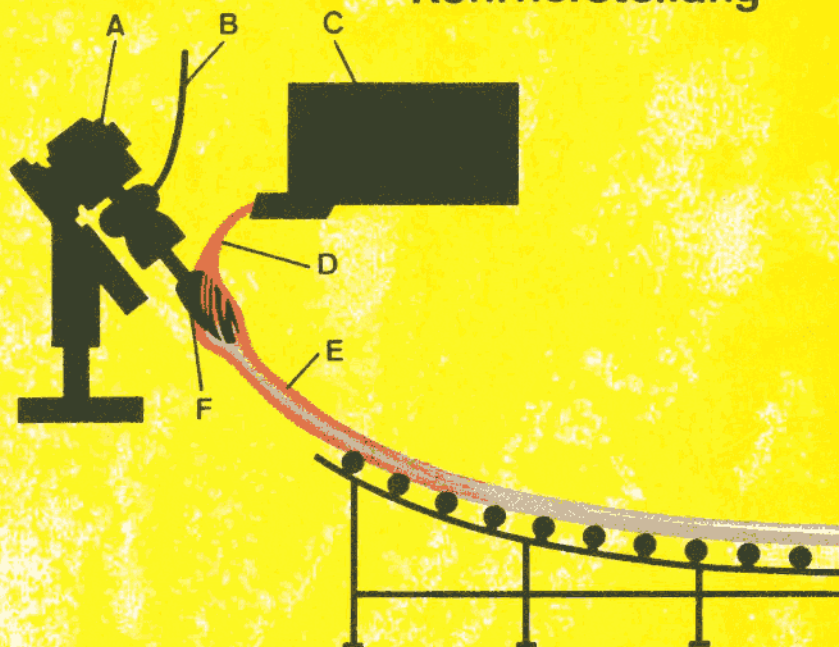
Zu Beginn unseres Jahrhunderts wurde das Ziehen von Rohren den Maschinen übertragen. Die von dem Ingenieur Danner gebaute Maschine enthält eine sich um ihre Längsachse drehende Pfeife aus feuerfestem Schamotte material. Sie weist eine Durchbohrung auf,

durch die Preßluft in das Glas geblasen wird. Aus der Wanne läuft die Schmelze auf die sich drehende Pfeife und wickelt sich hier auf. Dabei bildet das zähflüssige Glas einen Zylinder, der durch die eingeblasene Luft hohl bleibt und gleichmäßig abgezogen wird. Über Rollen läuft das endlose Rohr über die Ziehbahn und wird an deren Ende automatisch in Abschnitte von gewünschter Länge getrennt. Sie werden abgenommen, geprüft und gelagert oder verpackt. Pfeifendurchmesser und Ziehgeschwindigkeit der Anlage bestimmen den Durchmesser und die Wanddicke des Rohres und können in gewissen Grenzen geändert werden. Ein solcher Dannerzug kann stündlich bis zu 350 Kilogramm Glasrohr herstellen, was entsprechend den Abmessungen des Rohres viele hundert Meter sein können.

Inzwischen sind weitere Verfahren zur Rohrherstellung auf maschinellern Wege entwickelt worden. So läßt sich das Rohr senkrecht nach oben oder unten aus der Schmelze ziehen, wie es grundsätzlich auch bei der Flachglasherstellung erfolgt. Rohrstücke mit besonders großem Durchmesser und erheblicher Wanddicke werden zweckmäßig durch Schleudern in einer umlaufenden Trommel erzeugt.

Auch hier haben Maschinen dem Menschen schwere körperliche Arbeit abgenommen und schaffen in weit kürzerer Zeit die heute benötigten großen Mengen an Rohren. In Sonderfällen wird aber auch jetzt noch das

Rohrherstellung



A Motor

B Preßluftzufuhr

C Vorofen

D Schmelze

E Glasrohr

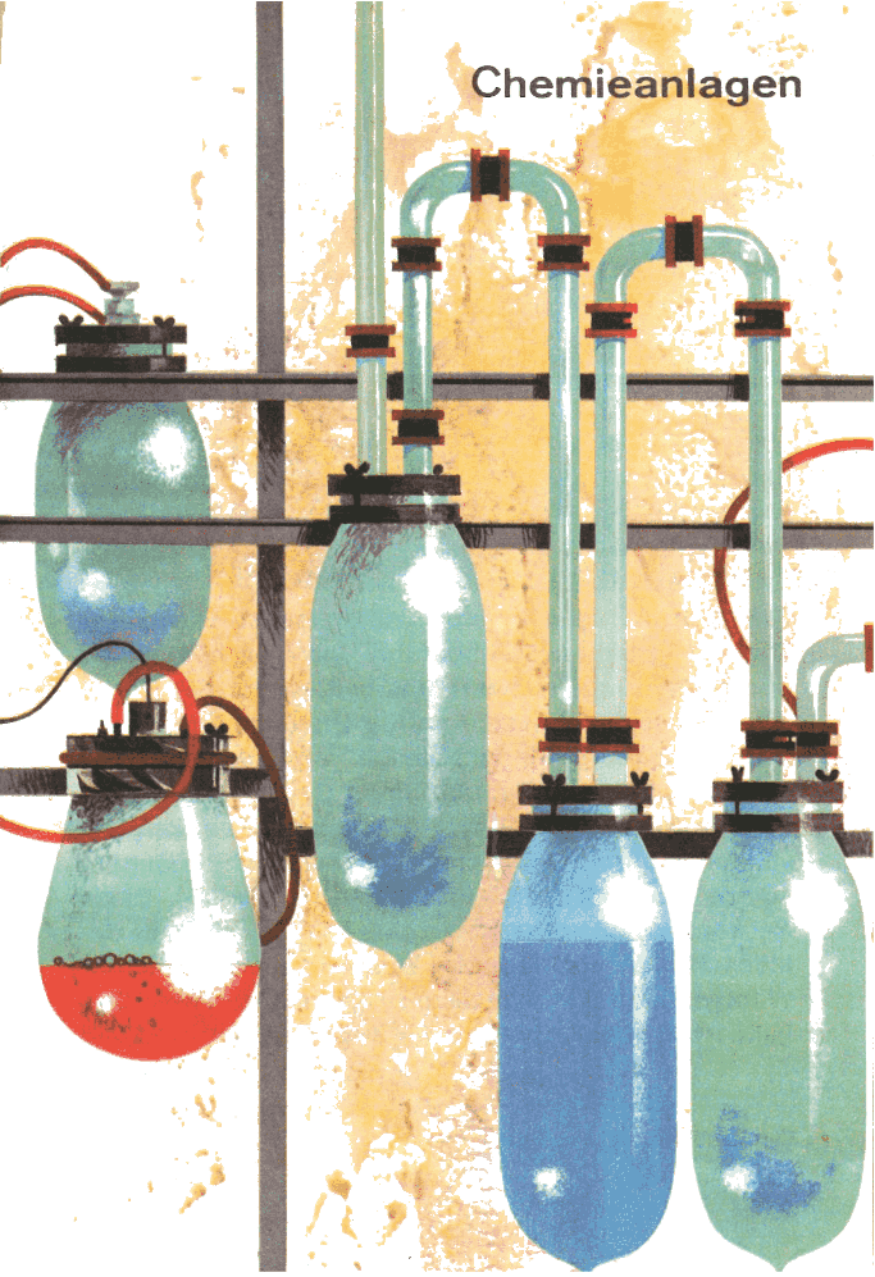
F Pfeife

Geschick des Glasmachers benötigt, um Rohre mit der Pfeife zu ziehen.

Rohre werden in der Volkswirtschaft in sehr großen Mengen benötigt. Jeder kennt die Leuchtstoffröhren, die der Raumbelichtung und der Werbung dienen. Dazu kommen immer neue Einsatzmöglichkeiten. Die große chemische Beständigkeit und die Durchsichtigkeit des Glases führen dazu, den Transport von Flüssigkeiten durch Glasrohre erfolgen zu lassen, wo immer es möglich ist. Schon recht lange hat man diese Vorteile des Glases in der Arzneimittelindustrie genutzt. Glas bleibt sauber, läßt sich leicht reinigen und gibt keine Stoffe ab, die die Arzneimittel verderben oder verfälschen könnten. Dies gilt auch für die Nahrungsmittelindustrie, wo Sauberkeit oberstes Gebot ist. In verschiedenen Brauereien fließt das Bier bereits durch hygienische Glasrohre. Wichtig sind solche Glasrohre besonders für den keimfreien Transport der Milch in Molkeereien und Rinderställen.

Inzwischen sind Glasrohre als Wärmeaustauscher in Kraftwerken erfolgreich getestet worden. Man spart dabei hochwertigen Stahl ein und verlängert auch die Lebenszeit dieser Austauscher. Die Herstellung von Glasrohren läßt sich im Gegensatz zu der von Metallrohren beliebig erweitern. Denn die dafür notwendigen Rohstoffestehen in unbegrenzter Menge zur Verfügung. Man muß nur dafür sorgen, daß die gläsernen Rohre erschütterungsfrei und ohne Spannungen verlegt wer-

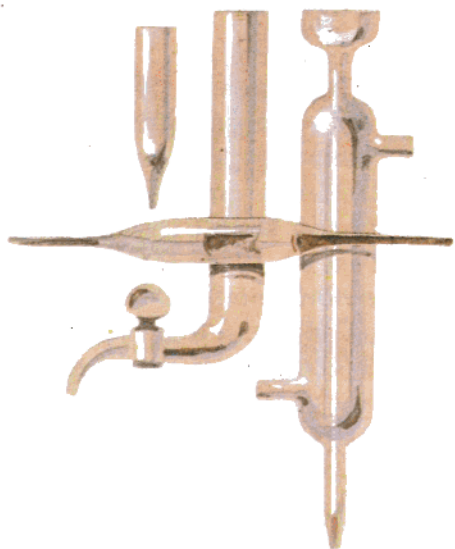
Chemieanlagen



den, da ihre Festigkeit gering ist. Verfestigte Rohre werden aber auch in dieser Beziehung neue Möglichkeiten schaffen. Inzwischen ist es gelungen, die einzelnen Glasrohre durch elektrisches Schweißen schnell und sicher zu verbinden. Heute sind bei weitem noch nicht alle Möglichkeiten für einen sinnvollen Einsatz von Glasrohren erschlossen.

Rohre aus Glas sind aber auch das Ausgangsmaterial für viele andere Gegenstände. Ampullen, Pipetten, Büretten, Kindermilchflaschen, Weihnachtsbaumschmuck, Reagenzgläser und andere oft komplizierte Geräte haben ihren Ursprung im Glasrohr. Sie werden überwiegend maschinell hergestellt, da sie in ihrer Form einfach sind und in sehr großen Stückzahlen benötigt werden.

Schon vor einigen hundert Jahren haben Glasbläser ähnliche Arbeiten durchgeführt, meist in mühevoller und entbehrungsreicher Heimarbeit, die von den Unternehmern schlecht bezahlt wurde. Die Glasbläser saßen in ihrer Wohnung vor der „Lampe“, einer durch Einblasen von Luft temperaturerhöhten Spiritus- oder Gasflamme. Sie holten sich die Rohre von den Fabriken und stellten mit großem Geschick die gewünschten Gegenstände her, um sie dann wieder abzuliefern. Diese Heimarbeit war früher oft die einzige Erwerbsquelle der Menschen in abgelegenen Walddörfern. Der Dichter Wilhelm Hauff berichtet davon in seinem Märchen „Das kalte Herz“. Der Arbeitstag der Glasbläser war lang und



**Aus Glasrohr
hergestellte
Geräte**

betrug nicht selten 14 bis 16 Stunden. Und auch dann reichte der karge Lohn nicht, so daß Frau und Kinder mitarbeiten mußten.

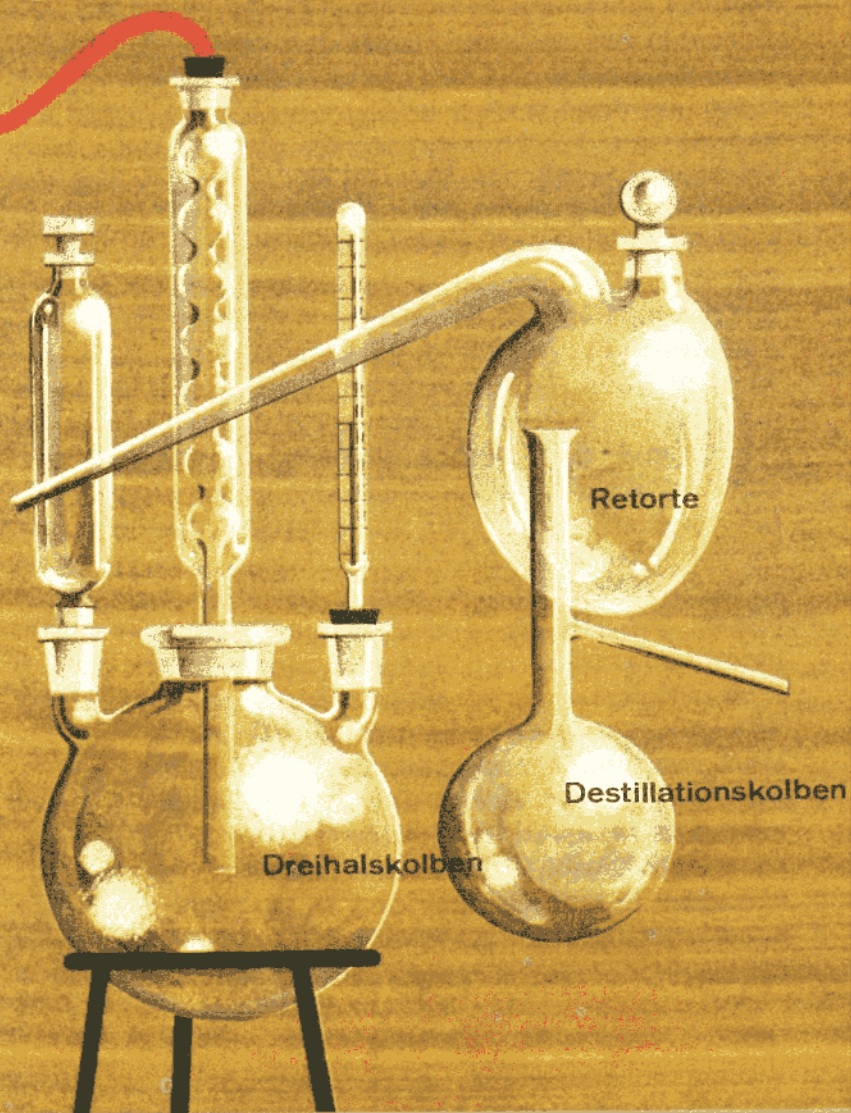
Auch heute ist in Dörfern des Thüringer Waldes der Glasbläser zu Hause. Doch inzwischen hat sich vieles gewandelt. Die Glasbläser sind Mitglied einer Produktionsgenossenschaft oder Angehörige eines Betriebes. Sie erhalten einen Lohn, der ihren hohen Fähigkeiten und der Arbeitsleistung entspricht. Ihre Arbeitsbedingungen haben sich wesentlich verbessert. Es ist immer wieder ein Erlebnis, dem Glasbläser bei seiner Arbeit zuzuschauen. Vor ihm brennt zischend die heiße Flamme. Er erwärmt das Glas, bläst es auf, dreht und biegt es und formt geschickt die kompliziertesten Geräte. Seht euch einmal im Schullaboratorium um. Ihr werdet viele Apparate und Gegenstände entdecken, die vom Glasbläser hergestellt wurden.

Das wandelbare Glas

Wir stehen am Ende unseres Streifzuges durch die Welt des Glases. Wer hätte am Anfang desselben gedacht, wie vielseitig das Glas sein kann, welche interessanten Eigenschaften und Möglichkeiten es uns bietet, die bei weitem noch nicht ausgeschöpft sind. Und was ganz besonders wichtig ist: Glas ist ein Werkstoff, der uns auf Grund unerschöpflicher Rohstoffvorkommen stets in jeder beliebigen Menge zur Verfügung stehen wird. Deshalb kommt dem Glas in Gegenwart und

Glas hilft dem Chemiker bei seiner Arbeit

Laborgläser



Zukunft eine ganz besonders bedeutsame Rolle zu. Werfen wir nochmals einen Blick zurück. Noch vor hundert Jahren stellte man Glas nach alt überlieferten Rezepten her. Zusammensetzung und Eigenschaften unterschieden sich kaum von den Gläsern des Altertums und des Mittelalters. Man schmolz das Glas in kleinen Hütten und formte es mit der jahrtausendealten Glasmacherpfeife oder in entbehrungsreicher Heimarbeit vor der Glasbläserlampe. Glas war kostbar, deshalb wurden häufig andere Werkstoffe verwendet. Erst zu Beginn unseres Jahrhunderts wurden Maschinen gebaut, die sehr viel mehr Flachglas oder Flaschen produzierten und Glaserzeugnisse zum Massenartikel werden ließen. Ein Vierteljahrhundert später begann man, den Feinbau des Glases von Grund auf zu erforschen. Aus den dabei gewonnenen Erkenntnissen konnten zielgerichtet neue Gläser mit bis dahin nicht für möglich gehaltenen Eigenschaften entwickelt werden. Wo wir heute in der Glasindustrie stehen, wurde in den vorhergehenden Kapiteln dargestellt. Für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wird heute und auch künftig an Kosten nicht gespart. Diese Arbeiten werden von einer großen Zahl spezialisierter Wissenschaftler und Techniker durchgeführt. Modernste Verarbeitungsmaschinen stellen so viele Erzeugnisse her, daß die Menge weit über den Bedarf eines Landes hinausgeht. Ein einziger Glühlampenautomat kann in 24 Stunden über eine Million Lampenkolben erzeugen. Er ist sehr teuer und arbeitet nur dann mit hohem Nutzen, wenn er ständig in Betrieb ist und nicht den größten Teil des Tages stillsteht. Aber wohin mit

den vielen überzähligen Glühlampenkolben? Tag für Tag sind es eine Million. In der DDR allein könnten wir sie bald nicht mehr verwenden und würden in einem riesigen Glühlampenlager ersticken.

Die Lösung besteht in einer sinnvollen Arbeitsteilung. Wir finden es doch zum Beispiel ganz natürlich, daß nicht jeder Mensch alles selbst herstellt, was er zu seinem Leben benötigt. Es haben sich die verschiedensten Berufe herausgebildet. Jeder spezialisiert sich in einem Beruf und leistet dann an seinem Platz mehr, als ein anderer es tun könnte.

Solch eine Arbeitsteilung, die auf dem gemeinsamen Vorteil beruht, gibt es auch zwischen den sozialistischen Staaten. Es handelt sich dabei um den RGW, den Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe. Nach gemeinsamer Planung und Absprache wird festgelegt, welches Land die besten Voraussetzungen besitzt, eine bestimmte Entwicklung oder Produktion durchzuführen. Oder man stimmt die neuen Aufgaben zwischen einzelnen sozialistischen Staaten ab und arbeitet gemeinsam an der Lösung, wodurch viel Zeit und Geld gespart wird. Im Rahmen der sozialistischen ökonomischen Integration wird die DDR die ökonomische und wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit mit allen Ländern des RGW erweitern und vertiefen. Die UdSSR liefert uns auf der Grundlage solcher Vereinbarungen beispielsweise Erdöl, Erdgas oder Stahl, wir führen dagegen Maschinen und Industrieanlagen aus.

Selbstverständlich hat es auch verschiedene Absprachen und Vereinbarungen über die Entwicklung, Her-

stellung, Prüfung und Bedarfsdeckung von Gläsern gegeben. Tradition und Erfahrung haben dazu geführt, daß ein Zentrum der Herstellung optischer Gläser das Glaswerk in Jena ist. Unsere Republik bestimmt heute das Weltniveau in der Glaserzeugung mit. In enger Zusammenarbeit mit einem optischen Glaswerk in der Sowjetunion wird nicht nur der Bedarf für beide Länder, sondern auch der anderer sozialistischer Staaten gedeckt. Die Herstellung des Floatglases ist von sehr kostspieligen Produktionsanlagen abhängig. Solche Anlagen stehen u. a. in der ČSSR, und wir beziehen unseren Bedarf an Spiegelglas von dort, ohne selbst eine solche Fabrik bauen zu müssen. Natürlich wird man nicht billiges und leicht herstellbares Haushaltsglas nur in einem Land produzieren und es dann über weite Entfernungen transportieren. Die Transportkosten würden dann vielleicht höher liegen als der Herstellungspreis. Die Produktion von speziellen Gläsern und Glaserzeugnissen und die Entwicklung neuer Verfahren und Technologien spielt in Form sozialistischer Arbeitsteilung für die rasche Erhöhung des Wohlstandes der sozialistischen Völker eine wesentliche Rolle. Was heute begonnen hat, wird ständig erweitert werden und immer selbstverständlicher sein. Gemeinsame und sorgfältig abgestimmte Arbeit wird das Glas immer interessanter machen, wird es über die jetzigen Eigenschaften und Möglichkeiten hinaus wandeln und vielfältig anwendbar werden lassen.



**Glasfenster
Glasmosaik**

Inhalt

5	Tödliches Glas
10	Glas in der Geschichte
22	Ein Blick in das Glas
32	Die Geburt des Glases
43	Bauen mit Glas
54	Der Glasdokter von Jena
63	Glas in der Optik
71	Fest wie Stahl
82	Es geht um die Flasche
95	Dünner als ein Haar
106	Das gläserne Chamäleon
116	Kristallisiertes Glas?
122	Licht aus dem Dunkel
128	Rohre, nichts als Rohre
136	Das wandelbare Glas

Irene und Hermann Henselmann

Das große Buch vom Bauen

Illustrationen von Gerhard Bläser
und Rudolf Peschel

192 Seiten · Pappband mit Folie · 17,50 M

Best.-Nr. 629 6169

Für Leser von 12 Jahren an

Diese Kulturgeschichte des Bauens verknüpft die Geschichte der Baukunst mit der der Bautechnik und gibt einen umfassenden Überblick der Entwicklung von den Anfängen des Bauens bis zum Bauernhaus und Stadthaus, von den ersten Ansiedlungen bis zur sozialistischen Umgestaltung des Dorfes und der Stadt, vom Entstehen der Baukunst bis zur Baukunst der Gegenwart, von den Baukonstruktionen und Baustoffen des Altertums bis zur modernen Bauindustrie.

DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN



© DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN-DDR 1977

Lizenz-Nr. 304-270/124/77-(40)

Gesamtherstellung: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig –
III/18/97

1. Auflage

LSV 7821

Für Leser von 10 Jahren an

Bestell-Nr. 630 236 2

DDR 3,- M

Glas ist ein wunderbarer Stoff. Es kann durchsichtig wie Luft, dünn wie Haar und fester als Stahl sein. Aus Sand, Soda und Kalk stellt man kunstvolle Gefäße und Spiegel, aber ebenso Thermometer, Lampen, Baustoffe, Brillen oder Pipetten her.

