

# Thema Glas

## 1.1 Zur Geschichte des Glases

Die **ältesten Glasfunde**, kleine Schmuckperlen, stammen aus Ägypten und dem östlichen Mesopotamien und werden auf das 3. Jahrtausend v. Chr. datiert. Schon um 1500 v. Chr. kamen in Ägypten die ersten kleinen Glasgefäße auf. Sie wurden in der Sandkerntechnik hergestellt, indem ein Formkern aus Lehm in eine Glasschmelze getaucht wurde oder indem geschmolzenes Glas in einen Sandkern ausgegossen wurde. Die Farbgebung durch Beimischung von Metalloxiden war damals bereits bekannt. Um 600 v. Chr. hatte sich die Kunst der Glasherstellung auf den gesamten östlichen Mittelmeerraum ausgebreitet. Das **älteste erhaltene Glasrezept** findet sich auf einer Tontafel des assyrischen Königs Assurbanipal (668 - 625 v. Chr.) und enthält die Vorschrift zur Herstellung eines blauen Glases<sup>1</sup>. Darin wird angewiesen, 60 Teile Sand, 180 Teile Asche aus Meerespflanzen, 5 Teile Salpeter und 3 Teile Kreide zu mischen und zu verschmelzen.

Mit Erfindung der **Glasmacherpfeife**, vermutlich in Ägypten oder Syrien (um 250 bzw. 100 v. Chr.), wurde die Grundlage für die heutige Hohlglasproduktion durch Glasblasen gelegt. Es handelt sich bei diesem Werkzeug um eine etwa 1,50m lange Eisenröhre mit einem Mundstück und einer Verdickung am unteren Ende. Mit Hilfe der Pfeife entnimmt der Glasbläser einen Klumpen geschmolzener Glasmasse aus dem Schmelzofen und bläst ihn unter ständigem Drehen zu einem Hohlgefäß auf (Versuch 1: Blasen einer Glaskugel). Noch heute wird diese alte Technik eingesetzt.

Die Glasmacherkunst breitete sich im gesamten römischen Reich aus. Die römischen Glasmacher fertigten bereits hochwertige Erzeugnisse. Genannt sei hier nur die **Portlandvase** aus dem ersten Jahrhundert vor Christi, deren erste Kopie im Jahr 1876 nach dreijähriger Arbeit gelang. Die einfache Technik des Glasblasens aber ermöglichte die Herstellung großer Stückzahlen, so dass Glas schon zu dieser Zeit zu einem **Alltagswerkstoff** wurde.

Auch damals wurde schon **Glasrecycling** betrieben, indem Glasscherben neben den Rohstoffen wieder eingeschmolzen wurden.

Schon im ersten Jahrhundert nach Christus muss es Fensterscheiben gegeben haben, wie Funde bei den Ausgrabungen von Pompeji belegen. Diese Fenster waren aber aufgrund noch nicht ausgereifter Fertigungstechnik milchig trüb.

Mit dem Zerfall des römischen Reiches erlitt die Glasmacherkunst einen starken Einbruch. Allein Byzanz blieb als Zentrum dieses Handwerks erhalten. Erst **im Mittelalter** konnte sich in Mitteleuropa wieder eine nennenswerte Glasherstellung etablieren. Die größten Leistungen der mittelalterlichen Glasbläser waren die Herstellung von klarem **Flachglas für Fensterscheiben** und von hochwertigen **Farbgläsern für Kirchen und Klöster**. Die älteste mitteldeutsche Schmelzhütte wird auf 1200 beim jetzigen Bad Klosterlausnitz belegt. Damals wurden Gläser geschmolzen, die auf Dauer nicht haltbar waren. Ihre chemische Resistenz ist geringer wegen ihres niedrigen Erdalkali- und hohen Kaliumoxidgehalts.

Für einfache Wohnhäuser wurden bis ins 19. Jahrhundert **Butzenscheiben** verwendet. Dafür wurde zunächst eine Kugel geblasen, die dann durch schnelle Drehbewegungen zu einer runden Scheibe geformt wurde, die mit Glasstücken und Bleistegen zu Fensterscheiben zusammengefügt wurde.

---

<sup>1</sup> Vorschlag für eine Projektwoche zum Thema Glas  
Klüsche D., Schleip A., PdN Chemie, 46 (1996/97) 1, S.15-20

Im 13. Jahrhundert blühte die Glasproduktion in Venedig auf. Diese Stadt ist bis heute für seine filigranen Glasgefäße und -figuren bekannt.

Die ersten geschliffenen **Brillengläser** werden auf das 14. Jahrhundert datiert.

Glashütten entwickelten sich in Deutschland gerade in den waldreichen Mittelgebirgsgebieten (z.B. Thüringer Wald), weil hier der Brennstoff Holz reichlich vorhanden war.

Im 18. Jahrhundert ermöglichte die industrielle Massenherstellung des wichtigen Rohstoffs Soda einen Aufschwung und eine **Industrialisierung der Glasindustrie**<sup>2</sup>. 1810 wurde in England die Technik zur Pressglasherstellung entwickelt. Zur Weltausstellung 1851 wurde in London ein Glaspalast mit einer Gesamtfläche von 100.000 m<sup>2</sup> Glas aufgestellt.

Im 19. Jahrhundert wurde die **Maschinenglasbläserei** entwickelt, erste Flaschen wurden so 1859 geblasen.

Im Jahre 1875 machte sich **Otto Schott** mit der Herstellung optischer Spezialgläser einen Namen. Schott, Abbe und Zeiss bauten in den Folgejahren die Produktion optischer Gläser in Jena auf.

Jedoch erst zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts entwickelte die Wissenschaft **Theorien zu Gläsern und deren Struktur**.

## 1.2 Was ist Glas?

Unter Gläsern versteht man polymere Feststoffe, die in **glasigem Zustand** sind. Gläser verfügen über eine **Nahordnung**, das heißt die nächsten Nachbarn eines beliebigen Atoms sind relativ regelmäßig koordiniert, es gibt aber **keine Fernordnung** wie in Kristallen<sup>3</sup>. Gläser bestehen also nicht wie ein Kristall aus einem Basisgitter, das sich regelmäßig wiederholt, sondern vielmehr aus einem **regellosen Netzwerk** (Versuch 2: die Glasstruktur - ein einfaches Kugelmodell).

Gläser werden auch als **eingefrorene Flüssigkeiten** bezeichnet, in denen sich aufgrund der hohen Viskosität (Zähigkeit) der Schmelze kein geordnetes Kristallgitter ausbilden konnte. Aufgrund unterschiedlicher Viskositäten lässt sich somit auch erklären, warum einige Schmelzen zur Glasbildung neigen, andere wiederum nicht.

Der Glaszustand ist thermodynamisch ein **instabiler Zustand**. Gläser können durch langes Erwärmen auf Temperaturen oberhalb der Glastemperatur  $T_g$  (siehe unten) in den energieärmeren kristallinen Zustand überführt werden, sie „entglasen“. Dabei trüben sie ein und verringern auch ihr Volumen (Versuch 3: Entglasen).

Ein Glas hat **keinen festen Schmelzpunkt**, sondern verfügt über einen breiten **Erweichungsbereich**. An der **Glastemperatur  $T_g$**  beginnt sich das Glas unter der Temperatureinwirkung auszudehnen, es bleibt aber weiterhin fest. Oberhalb der Glastemperatur erweicht es zunehmend, nimmt aber erst bei deutlich höheren Temperaturen ein Flüssigkeitsverhalten an (**Schmelztemperatur  $T_s$** ). In dem Temperaturbereich zwischen  $T_g$  und  $T_s$  kann das Glas geformt und verarbeitet werden (Versuch 4: Herstellung gewinkelter Glasrohre).

Nach dieser Definition sind auch nichtkristalline organische Polymerwerkstoffe den Gläsern zuzuordnen wie Polymethylmethacrylate (Plexiglas) oder Polyethylen. Ebenso fallen Bonbons aus geschmolzenem Zucker unter den Begriff „Glas“ (Versuch 5: Bonbons aus einer Zuckerschmelze). Natürliche Gläser entstehen z.B. bei vulkanischer Tätigkeit wie der Obsidian, der über 80% glasige Phase aufweist. Tektite sind dem Obsidian ähnliche grüne bis

---

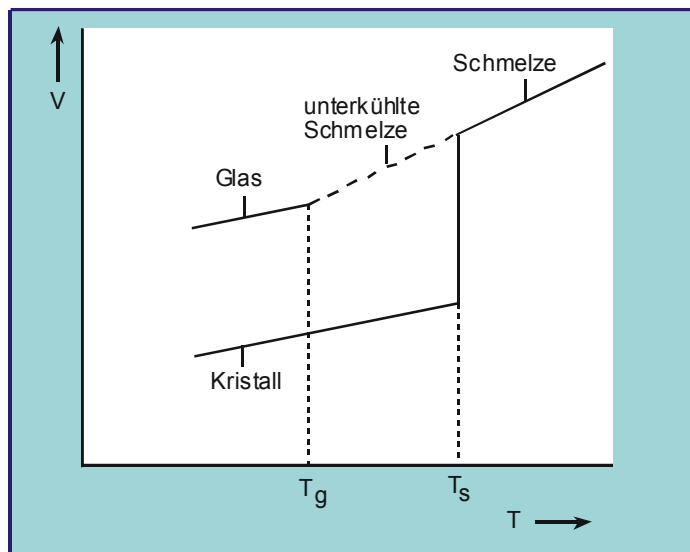
<sup>2</sup> Glas: seine Herstellung und Verwendung

Fischer K., PdN Chemie, 46 (1996/797) 1, D.8-9

<sup>3</sup> Strukturorientierte Einführung der Definition von Glas

Berndt R., Chem. Sch., 39 (1992) 3, S.107-114

schwarze Glaskörper. Man hat sie als Erstarrungsprodukte von Schmelzen erkannt, die durch den Aufprall von Meteoriten entstanden sind. Auch wenn der Blitz in Sand einschlägt können glasige Blitzröhren mit 0,5 – 2mm Wandstärke, die Fulgurite, entstehen <sup>4</sup>.



**Abbildung 1: Temperaturverlauf des Volumens V im schmelzflüssigen, glasigen und kristallinen Zustand <sup>5</sup>**

### 1.3 Zusammensetzung und Struktur anorganischer oxidischer Gläser

Im alltäglichen Sprachgebrauch verbindet man mit dem Begriff „Glas“ die große Gruppe der anorganischen Gläser auf Oxidbasis. So soll auch im folgenden Text der Begriff „Glas“ verwendet werden, um diese Gebrauchsmaterialien und ihre Eigenschaften zu charakterisieren.

Die Struktur dieser Gläser wird mit der 1932/33 entwickelten **Netzwerkhypothese** von Zachariasen und Warren erklärt <sup>6</sup>.

Gläser bestehen danach aus glasbildenden sauren Oxiden, besonders  $\text{SiO}_2$  und  $\text{B}_2\text{O}_3$ , seltener  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{As}_2\text{O}_3$  und  $\text{As}_2\text{O}_5$ . Der Hauptbestandteil der meisten Gläser ist Siliciumdioxid, es handelt sich bei den Gläsern demzufolge um Polysilikate. Diese Oxide besitzen die Fähigkeit ein Netzwerk aufzubauen und werden deshalb als **Netzwerkbildner** bezeichnet.

Weiterhin enthalten Gläser meist netzwerk wandelnde basische Oxide, die für sich allein kein Glas bilden können, sich aber in das Netzwerk einlagern und es damit verändern. Es handelt sich dabei vorwiegend um Alkali- und Erdalkalioxide ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{BaO}$ ). Die **Netzwerk wandler** übernehmen in der Schmelze die Funktion eines Flussmittels, weil sie deren Schmelzpunkt erheblich senken. Gleichzeitig erniedrigen sie auch die Schmelztemperatur der gefertigten Gläser, erhöhen deren thermischen Ausdehnungskoeffizienten und verringern ihre chemische Beständigkeit.

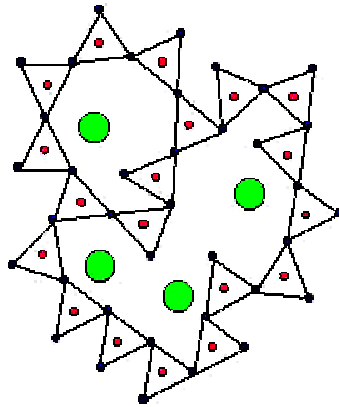
$\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{PbO}$  und  $\text{ZnO}$  stehen in ihren Eigenschaften zwischen den beiden Gruppen, sie können sowohl als Netzwerkbildner als auch Netzwerk wandler im Gerüst auftreten <sup>7</sup>.

<sup>4</sup> Schott Glaslexikon, mvg-Verlag, Landsberg am Lech, 1997

<sup>5</sup> CD Römpp Chemie Lexikon, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York

<sup>6</sup> Glaszustand und seine Struktur

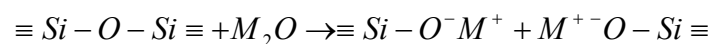
Weimann R., NiU Chemie, 7 (1996) 35, S. 9-12



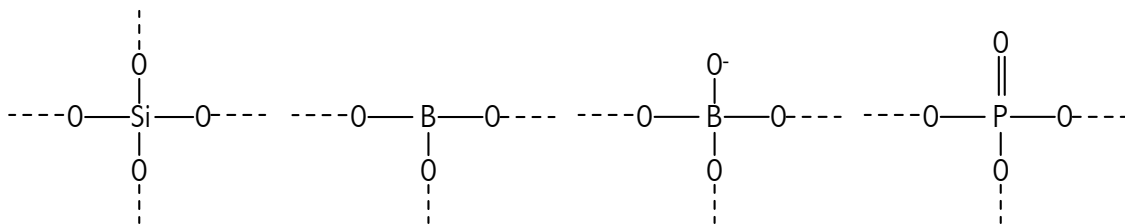
**Abb.2: Silicatglas mit Netzwerkwandlern**

(Legende: ● = O    ● = Si    ● = Na)

Die Struktur eines Glases stellt man sich folgendermaßen vor: Geht man vom verbreiteten Silicatglas aus, so bilden eckenverknüpfte  $\text{SiO}_4$ -Tetraeder ein **ungeordnetes dreidimensionales Netzwerk**. Die Ausbildung dieses Netzwerkes erklärt die hohe Viskosität der Glasschmelze. Die Verknüpfung erfolgt über Silicium-Sauerstoff-Bindungen Si-O-Si. Diese Bindungen liegen in ihren Eigenschaften zwischen den kovalenten Bindungen und den Ionenbindungen. Sie werden durch Anlagerung von netzwerk wandelnden Oxiden teilweise gespalten. Man sagt, dass **Trennstellen** im Netzwerk gebildet werden:

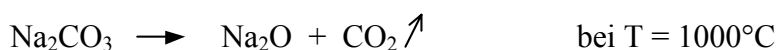


Die Netzwerk wandler ( $\text{M}^{n+}$ ) lagern sich in Hohlräumen und Lücken des Netzwerkes ein. Wird Silicium(IV) teilweise oder vollständig durch Bor(III) oder Phosphor(V) ersetzt, so verändert sich damit auch die Anzahl der Bindungs- und Koordinationspartner:



Als **Rohstoffe** für die Glasschmelze können neben den Oxiden Hydroxide, Carbonate, Nitrate oder Sulfate eingesetzt werden, da daraus in der Hitze die entsprechenden Oxide unter Abspaltung von  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$  und  $\text{O}_2$  gebildet werden.

Beispiel:

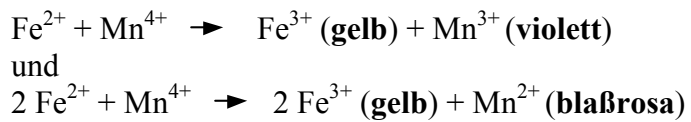


Farbige Gläser verdanken ihre Farbe gelösten **Oxiden** wie FeO (blaugrünes Glas), CoO (blau bis violett), NiO (gelb),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oder  $\text{MnO}_2$  (braun) und CuO (blaugrün). Dabei reichen bereits

<sup>7</sup> Sachstruktur zum Thema Glas  
Bindel C., Pfeifer P., NiU Chemie, 7 (1996) 35, S.4-8

geringe Mengen aus, die homogen unter die Rohstoffzusammensetzung gemischt werden, um eine kräftige Farbgebung zu erzielen (Versuch 6: Herstellung von Farbglas).

Eine unerwünschte Färbung der Gläser, hervorgerufen durch Verunreinigung der Rohstoffe, lässt sich durch Zugabe von Oxiden, die die Komplementärfarbe liefern, beseitigen. So wird eine schwache Eisenfärbung ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) durch Zusatz von Braunstein („Glasmacherseife“) entfernt:



Gold- und Kupferrubinglas enthalten kolloidal gelöstes Au und Cu. Die hier eingesetzte **Anlauffärbung** wird nicht in der Glasschmelze, sondern erst bei späterem Erwärmen des Glasgegenstandes auf 500°C erzielt<sup>8</sup>.

**Trübgläser** beinhalten winzige Kristalle von z.B. NaF, die das einfallende Licht brechen oder streuen oder sind - ähnlich den Emulsionen - aus mehreren glasigen Phasen feinstverteilt aufgebaut.

Eine Besonderheit sind selbstverdunkelnde Brillengläser (phototrope oder photochrome Gläser). Sie enthalten submikroskopische, silberhalogenidhaltige Ausscheidungen, die bei Einstrahlung von UV- oder kurzwelligem sichtbarem Licht reversibel zu Silber reduziert werden und damit die Lichtdurchlässigkeit des Brillenglases verringern.

## 1.4 Eigenschaften von Gläsern

Die wichtigste Eigenschaft der Gläser ist ihre Transparenz: Sie absorbieren und reflektieren sichtbares Licht (400 – 750 nm) kaum. In Farbgläsern wird die Komplementärfarbe der sichtbaren Farbe absorbiert. Ob ein Material durchsichtig ist oder nicht, hängt ganz entscheidend von seiner Schichtdicke ab. So sind sehr dünne Aluminiumschichten durchsichtig, ein sehr dickes Glas dagegen undurchsichtig. Glasscheiben sind von der Seite gesehen häufig grün. Es ist jedoch bereits gelungen, Glasfasern zu realisieren, die bis zu Hunderten von Kilometern „durchsichtig“ sind. Diese Tatsache nutzt man in der Informationstechnologie zur Übermittlung von digitaler Information über Lichtimpulse mit Hilfe von Lichtleitfasern.

UV-Strahlung wird hingegen von vielen Gläsern mit Ausnahme von reinem Quarzglas absorbiert, so dass man hinter einer Fensterscheibe keinen Sonnenbrand bekommt. Hierfür sind Elektronenübergänge vielfältiger Art verantwortlich - intrinsisch sowie durch Verunreinigungen und hierbei hauptsächlich  $\text{Fe}^{3+}$ . (Versuch 7: Absorption von UV-Strahlung).

Im infraroten Bereich ist Glas nur begrenzt durchlässig. Absorptionsbanden von 2800 – 4500 nm sind auf im Glas gelöstes Wasser zurückzuführen. Ab 4500 nm werden Si- und O-Atome im Gitter zu Schwingungen angeregt. Auf dieser Absorption beruht der bekannte Treibhauseffekt. Kurzwelliges Sonnenlicht passiert ein Glashaus und erwärmt den Erdboden. Dieser strahlt gemäß des Stefan-Boltzmann-Gesetzes ( $S = \delta T^4$ ) seinerseits elektromagnetische Strahlung aus, die jedoch im Vergleich zum einfallenden Licht langwelliger ist. Diese langwellige Wärmestrahlung wird vom Glas absorbiert, der Innenraum heizt sich auf.<sup>9</sup> (Versuch 8: Absorption von IR-Strahlung).

Die **chemische Resistenz** von Gläsern hängt von ihrer Zusammensetzung ab. Glas zeichnet sich aber im allgemeinen durch eine sehr gute Beständigkeit gegenüber Wasser,

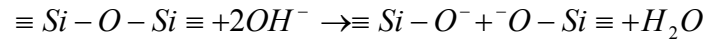
<sup>8</sup> Lehrbuch der Anorganischen Chemie, Hollemann A.F., Wiberg E., Walter de Gruyter, New York, 1985

<sup>9</sup> Versuche zum Treibhauseffekt – Absorption von Wärmestrahlung durch Glas und verschiedene Gase  
Hoverath H., MNU, 50 (1997) 1, S.29-32

Salzlösungen, Säuren und organischen Lösungsmitteln aus. An der Oberfläche eines Glases werden durch Einwirkung von Wasser und Säuren Alkali-Ionen herausgelöst (Ionenaustauschprozess). Dadurch bildet sich dort eine sehr dünne und widerstandsfähige Schicht von Kieselsäure, die einen weiteren Angriff verhindert<sup>10</sup>.

Glas wird nur durch Flusssäure und starke Laugen besonders bei hohen Temperaturen angegriffen, wobei Silicium-Sauerstoff-Bindungen gelöst werden.

Für den Laugenangriff gilt:



In Spülmaschinen werden häufig alkalische Reiniger bei Temperaturen zwischen 55 und 65°C eingesetzt, die gerade teure Kristallgläser angreifen können, indem das Glas „blind“ wird. Deshalb wird hier eine Handreinigung empfohlen.

Die Untersuchung der **chemischen Beständigkeit** dient zur Charakterisierung eines Glases. Es gibt normierte Prüfverfahren zur Untersuchung der hydrolytischen Beständigkeit, zu seiner Säuren- und Laugenbeständigkeit (Versuch 9: Hydrolytische Beständigkeit eines Glasgrieß). Gläser werden besonders leicht angegriffen, wenn sie zu einem feinen Glasgrieß zerkleinert werden, weil dann die Oberfläche und damit die Angriffsfläche sehr groß ist.

Gläser bilden an ihrer Oberfläche **Wasserstoffbrückenbindungen** zu wässrigen Lösungen aus. Das erklärt, warum Gasblasen im Trinkglas mit Mineralwasser oder Limonade nur an bestimmten Stellen auftreten, nämlich dort wo Fehlstellen sind bzw. die Glasoberfläche durch Mikroverunreinigungen z.B. Fett abgeschirmt wird. (Versuch 10: Mineralwasser in geritztem bzw. gebuttertem Trinkglas<sup>11</sup>).

Gläser sind **spröde Werkstoffe**, deshalb zerbrechen sie unter Belastung, anstatt plastische oder elastische Deformation zu erleiden. Die Druckbelastbarkeit ist jedoch relativ hoch, so dass man eine Flasche als Hammer verwenden kann (Versuch 11: Glasflasche als Hammer).

Die Eigenschaften des Glases hängen aber entscheidend von den Herstellungsbedingungen ab. In Gläsern, die sehr schnell abgekühlt werden, bleiben im Netzwerk viele Stellen unbefriedigter oder ungünstiger Koordination zurück, die zu starken Spannungen im Glas führen. Solche Gläser zerspringen sehr leicht. Deshalb darf Glas nach dem Schmelz- und dem Bearbeitungsprozess nicht abgeschreckt werden, sondern muss langsam abgekühlt werden. Hochwertige optische Gläser werden teilweise einer wochen- bis monatelangen Feinkühlung unterzogen.

In Sicherheitsgläsern wie Autoseitenscheiben werden Spannungen gezielt eingesetzt, um bei Bruch die Bildung gefährlicher, scharfkantiger Scherben zu vermeiden. Die Gläser werden so hergestellt, dass sie bei starker Verletzung zu einer Vielzahl kleinster Körnchen zerfallen.

Die verschiedenen Glassorten dehnen sich bei Erwärmung unterschiedlich stark aus. Reines Kieselglas (100 % SiO<sub>2</sub>) und Gerätegläser mit einem hohen SiO<sub>2</sub>-Anteil zeigen eine sehr geringe Wärmeausdehnung. Kieselglas kann deshalb von heller Glut in Wasser abgeschreckt werden, ohne dass es zerspringt. Mit zunehmendem Anteil an Netzwerkwandlern steigt aber der Wärmeausdehnungskoeffizient der Gläser. Einfaches Fensterglas dehnt sich so stark aus, dass es nur vorsichtig erhitzt und abkühlt werden kann. Spannungen führen sonst zum Bruch.

---

<sup>10</sup> Glas als Werkstoff

Pfeifer P., NiU Chemie, 7 (1996) 35, S.13-18

<sup>11</sup> Geschmackvolle Bläschen

National Geographic, 9 (2001), S.14

Glas ist ein idealer Werkstoff für die Optik, da es transparent ist und sich seine optischen Eigenschaften gezielt beeinflussen lassen. So verfügen bleihaltige Gläser (35 % PbO) über ein besonders hohes Lichtbrechvermögen ( $n_d \approx 1,7$ ).

Für optische Gläser (Linsen, Brillen, Objektive, Fernrohre, Mikroskope) muss die Brechzahl über die gesamte Linse homogen sein. Deshalb ist es von großer Bedeutung, dass die Gläser aus hochreinen Ausgangsstoffen geschmolzen und sehr langsam abgekühlt werden. Spannungen erzeugen Anisotropie, was so viel heißt wie „ungleiches Verhalten bei Richtungsänderungen“. Die Schmelzen werden sehr gut homogenisiert, bevor sie gegossen und gekühlt werden.

Gläser sind hoch isolierende Werkstoffe (Glasisolatoren). Mit zunehmender Temperatur steigt jedoch die Ionenbeweglichkeit der Netzwerk wandler. Eindrucksvoll lässt sich zeigen, dass ein schmelzender Glasstab den elektrischen Strom leitet (Versuch 12: Leitfähigkeit eines schmelzenden Glasstabs).

Auch die Glasschmelze ist - wie von Salzschnmelzen bekannt- elektrisch leitfähig (Versuch 13: Leitfähigkeit der Glasschmelze).

## 1.5 Glastypen

Wird Siliciumdioxid mit hohen Anteilen von Alkalioxiden bei etwa 1300°C zusammengeschmolzen, so erhält man nichtkristalline wasserlösliche Alkalisilikate, die auch als **Wassergläser** bezeichnet werden. Wasserglas-Lösungen werden z.B. als Leim für Papier und Pappe, als Bindemittel für Anstrichfarben und Formen in der Gießereiindustrie verwendet<sup>12</sup> (Versuche 14: Kleben von Papier, Herstellen einer Gießereiform).

Sie reagieren aufgrund teilweiser Hydrolyse der Alkalisilikate alkalisch. Beim vorsichtigen Ansäuern bildet sich ein disperser Niederschlag von Kieselsäure, was zur Herstellung anorganischer Sole und Gele genutzt wird. Bei Zusatz von mehrwertigen Metallkationen bilden sich schwerlösliche Silikate, was zum Beispiel zur Wasserenthärtung genutzt werden kann (Versuch 15: Der chemische Garten).

Das üblich verwendete **Kalk-Natron-Silikatglas** hat eine Zusammensetzung von 12,9 % Na<sub>2</sub>O, 11,6 % CaO und 75,5 % SiO<sub>2</sub>. Es wird für Fensterscheiben, Spiegel (Flachglas), Flaschen oder Haushaltsartikel (Hohlglas) verwendet.

Die Hauptrohstoffe für die Herstellung sind Quarzsand (SiO<sub>2</sub>), Soda (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), Kalkstein (CaCO<sub>3</sub>), Marmor (CaCO<sub>3</sub>) oder Kalkmergel (Kalkstein mit 25-35% Ton).

Bei den **Kali-Kalk-Gläsern** ist Natriumoxid durch Kaliumoxid ersetzt wie beim böhmischen Kristallglas, welches für feine geschliffene Gegenstände verwendet wird. Das niedrig schmelzende „Thüringer Glas“ ist ein gemischtes **Natron-Kali-Kalk-Glas**.

In den **Bor- und Tonerdegläsern** ist ein Teil des Siliciumdioxids durch Boroxid bzw. Aluminiumoxid ersetzt, wodurch die Widerstandsfähigkeit des Glases gegen Säuren und Laugen sowie Temperaturdifferenzen deutlich erhöht wird.

Wesentliche Impulse für die Entwicklung dieser Gläser gingen von Otto Schott aus. Ein sehr bekanntes Glas ist das „Duran-Glas“, welches als Labor- und Geräteglas eingesetzt wird, aber auch breite Anwendung in den Haushalten in Form von hitzefesten Gläsern (z.B. Backformen) findet. Es enthält 8,5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und 4,6 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Eine ähnliche Zusammensetzung haben das „Jenaer Glas“ oder das „Pyrexglas“.

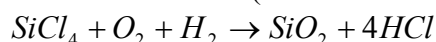
---

<sup>12</sup> Wasserglas – Herstellung und Verwendung  
Kühr K., PdN Chemie, 46 (1996/97) 1, S.10-14

**Kali-Blei-Gläser** („Bleikristallglas“) zeichnen sich durch hohes Lichtbrechungsvermögen aus. Sie werden deshalb in der Optik und für geschliffene Luxusgegenstände verwendet. Besonders bleireich ist der sogenannte „**Straß**“, der in seinem Lichtbrechungsvermögen mit Edelsteinen konkurrieren kann.

Bei der Bezeichnung **Kiesel-** oder **Quarzglas** handelt es sich um reines SiO<sub>2</sub>-Glas. Es ist sehr hitze- und temperaturwechselfest. Aufgrund des hohen Schmelzpunktes von reinem Quarzsand SiO<sub>2</sub> (1710°C) muß es aber bei extrem hohen Temperaturen bzw. auf einem chemischen Umweg (MCVD-Verfahren) hergestellt werden.

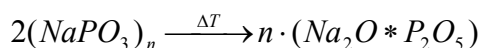
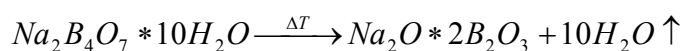
MCVD-Verfahren (**modified chemical vapour deposition**):



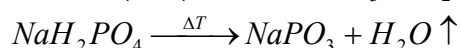
Für die Schule eignen sich besonders zwei Glastypen, die unter dem Namen **Phosphorsalz-** und **Boraxperle** bereits vielfach im Unterricht zum Farbnachweis von Metallkationen eingesetzt werden (Vorprobe in der qualitativen Analyse).

Dieses silicatifreie Phosphat- bzw. Boratglas kann in der Magnesiumrinne, am Magnesiastäbchen, aber auch sehr einfach in größeren Mengen im Porzellan- oder Korundtiegel geschmolzen werden. (Versuch 16: Herstellung von Glas in der Schule)

Wie die folgenden Reaktionsgleichungen zeigen, enthalten die Rohstoffe, die Salze **Borax** Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · x H<sub>2</sub>O und **Natriummetaphosphat** (NaPO<sub>3</sub>)<sub>n</sub>, bereits Netzwerkbildner und Netzwerkwandler:



Alternativ kann auch „Phosphorsalz“ NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> oder Natriumdihydrogenphosphat NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> als Ausgangsstoff eingesetzt werden:



Da beim Erhitzen von Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · x H<sub>2</sub>O, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> und NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> Wasser (H<sub>2</sub>O) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) freigesetzt werden, schäumen die Rohstoffschmelzen stark.

Je nach verwendeter Tiegelgröße können im Unterricht 5 bis 20 g der Rohstoffe innerhalb von etwa 10 Minuten eingeschmolzen werden.

Diese Salze zeichnen sich durch vergleichsweise niedrige Schmelzpunkte aus. (Borax hat einen Smp. von 878°C.)

Die hergestellten Gläser haben keine technische Bedeutung, da sie nur geringe chemische Resistenz aufweisen. So lösen sich die hergestellten Phosphatgläser bereits bei längerer Wassereinwirkung wieder auf. Gerade diese Tatsache macht sie aber für die Schule attraktiv, da das Tiegelmaterial auf einfache Weise wieder gereinigt werden kann.

So schnell und einfach gelingt es nicht, SiO<sub>2</sub>-haltige Gebrauchsgläser in der Schule herzustellen. Mit dem Laborbunsenbrenner werden zwar Temperaturen von etwa 800 - 1000°C (bis max. 1500°C bei guten Mischkammerbrennern) erreicht, der Schmelzprozess

dauert aber bis zu einigen Stunden<sup>13</sup>. Mit einem Muffelofen kann bei Temperaturen ab 1000°C alkalireiches Glas in der Schule hergestellt werden. Es muß jedoch ausreichend Zeit zur Verfügung stehen (Projektwoche) bzw. muß der Lehrer die Schmelze schon vorbereitet haben. Neben dem zeitlichen und energetischen Aufwand geht dabei viel von der Anschaulichkeit verloren.

## 1.6 Herstellungsverfahren

Gläser werden durch **Einschmelzen der Rohstoffe** unter Zumischung von **40 – 90 % Altglas** in feuerfesten Öfen und Wannen hergestellt. Die Edukte werden dafür zunächst abgewogen, zerkleinert und dann sehr gut vermischt. Das Einführen der Rohstoffe in den Ofen erfolgt je nach deren Größe manuell oder kontinuierlich durch Einlegemaschinen. Das Fassungsvermögen der Öfen reicht dabei von etwa 50 L bis zu großen Wannenöfen mit 30 m Länge, 11 m Breite und 1,6 m Tiefe ( $V = 528 \text{ m}^3$ ) zum Einschmelzen von Rohstoffmengen über 1000t. Die Beheizung erfolgt mit Heizöl, Erdgas oder elektrischem Strom. Der Energieverbrauch dabei ist hoch, so werden je nach Glassorte und Ofenkonstruktion pro Kilogramm Glas zwischen 10 und 45 MJ Energie verbraucht.

Nach dem Schmelzprozeß bei 800 – 1600°C (bei Spezialgläser bis 1800°C) folgt die **Läuterung**. Dabei werden gasförmige Einschlüsse mit Hilfe von Läutermitteln (z.B. Natriumsulfat) aus der schlierigen und blasenreichen Schmelze entfernt. Läutermittel werden selbst unter Bildung großer Blasen thermisch zersetzt, welche dann schnell aus der Schmelze aufsteigen und kleine Gaseinschlüsse mit sich reißen. Um das Ausgasen zu beschleunigen und die Schmelze zu homogenisieren, wird oft zusätzlich mechanisch gerührt oder in der heißen Zone Luftblasen durch die Schmelze geschickt („Bubbling“).

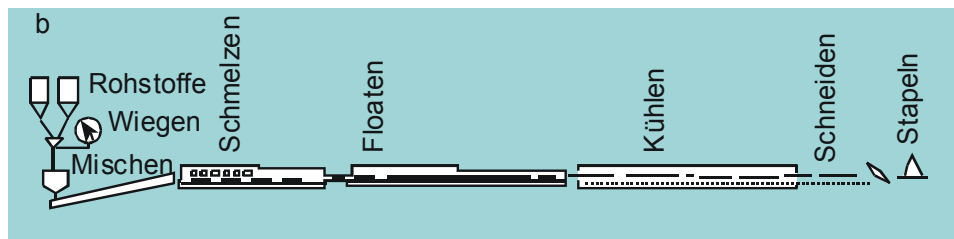
Anschließend läßt man die Schmelze so lange Abkühlen, bis die Viskosität so weit angestiegen ist, dass die Weiterverarbeitung erfolgen kann. Die Art der **Formgebung** wird durch das endgültige Produkt bestimmt: Walzen, Gießen (Floatglasverfahren, Flachglasproduktion), Blasen (Flaschen, Schmuckglas), Pressen (Hauswirtschaftsglas) oder Spinnen (Glasfasern)<sup>14</sup>.

Das **Floatglasverfahren** wurde 1959 in England entwickelt und brachte einen großen Durchbruch in der Glasproduktion. Die geschmolzene Glasmasse wird kontinuierlich aus dem Schmelzbad auf einem Band abgeführt und in eine Wanne mit geschmolzenem Zinn (Schmelzpunkt 232°C) geleitet, auf dem es schwimmt (floatet). Mit Hilfe einer Schutzgasatmosphäre (Stickstoff) wird die Oxidation des flüssigen Zinns durch Luftsauerstoff vermieden. Das flüssige Glas breitet sich auf der Zinnoberfläche aus, wobei eine völlig plane, „spiegelglatte“ Oberfläche entsteht. Das Glas wird dabei von etwa 1000°C auf 600°C abgekühlt, wobei es sich langsam verfestigt, das Zinn bleibt dagegen flüssig. Anschließend wird das Glas außerhalb der Wanne kontrolliert weiter abgekühlt und mit Hilfe automatischer Schneidewerkzeuge zu Standardgrößen (meist 3,2 x 6,0 m) zugeschnitten.

---

<sup>13</sup> Glasherstellung im Schülerversuch  
Pfeifer P., Bindel C., NiU Chemie, 7 (1996) 35, S.32-34

<sup>14</sup> Eine bilinguale Unterrichtseinheit zum Thema Glas  
Bogner F., ChemKon, 2 (1995) S.9-16



**Abbildung 3: Das Floatglasverfahren**

Das Floatglasverfahren wird auch zur Herstellung von **Spiegeln** eingesetzt, bei denen hohe Ansprüche an die Planparallelität und Oberflächenbeschaffenheit des Glases gestellt werden. Auf der Glasoberfläche wurde früher dann eine dünne reflektierende Schicht aus elementarem Silber aufgebracht. Dafür wurde mit Hilfe eines Reduktionsmittels (Glucose, Fructose, Galactose) eine Silbernitratlösung zu Silber reduziert und auf der gereinigten Glasoberfläche abgeschieden (Versuch 17: Silberspiegel)<sup>1516</sup>. Heutzutage werden (beliebige) Metallschichten mit Sputtertechnik aufgebracht (Zerstäubung auf der Festkörperoberfläche durch Beschuss mit energiereichen Ionen bzw. Neutralteilchen).

**Schaumglas** wird durch nachträgliches Aufschäumen von Glaspulver (z.B. mit Ruß, ähnlich dem Kuchenbacken) erzeugt und wird als Dämmstoff gegen Kälte, Wärme oder Schall eingesetzt.

## 1.7 Glasrecycling

Bei der Glasproduktion werden neben den Rohstoffen 40 - 90 % gemahlene Altglasscherben eingeschmolzen und damit wiederverwertet (Recycling). Bei der Verarbeitung von Altglas werden nicht nur Rohstoffe eingespart, sondern die erforderliche **Energiemenge** wird auch um **bis zu 40 % gesenkt**.

Bei Altglas handelt es sich vorwiegend um Produktionsabfall aus der Glasverarbeitung und den gesammelten Glasabfall der Haushalte. Heutzutage werden bundesweit mehr als 80% Altglas gesammelt und wiederverwertet.

Die Gläser werden meist nach Farben (weiß, grün, braun) getrennt gesammelt, da z.B. schon wenige grüne Flaschen in einer Weißglasschmelze eine ungewollte Färbung hervorrufen. Moderne Aufbereitungsverfahren gestatten aber eine fast vollständige Farbtrennung gemischt gesammelter Scherben. Glas kann beliebig oft wieder eingeschmolzen werden, es verliert dadurch nicht an seinem Wert. Probleme treten nur durch **Unrat** auf, der mit in die Container geworfen wird. Dort finden sich z.B. Schraubdeckel, Korken oder auch Porzellanbruch.

Dieser Abfall muß sorgfältig abgetrennt werden. Vor dem Mahlen wird das Glas - zum Teil manuell - sortiert. Dann wird es auf einen Durchmesser  $\phi > 4$  mm zerkleinert und maschinell weiter getrennt. Pappe, Papier, Keramik und anderes undurchsichtiges oder farbiges Material werden mit Hilfe von spektroskopischen Verfahren detektiert. Eisenhaltige Materialien werden mit Magneten entfernt. Weitere Metalle werden mit Hilfe von Induktionsdetektoren erkannt.

Folgende Probleme treten durch die unerwünschten „Sammelobjekte“ auf: Keramikbruch schmilzt erst bei höheren Temperaturen als Glas, Einschlüsse in das Glas rufen Spannungen

<sup>15</sup> Versuche zur Erzeugung von Silberspiegeln  
Probeck G., PdN Chemie, 5 (1991) 40, S.21

<sup>16</sup> Justus von Liebig und die Glasversilberung  
Vaupel E.C., PdN Chemie, 5 (1991) 40, S.22-29

hervor. Das Glas muß aus Sicherheitsgründen ausgesondert werden. Aluminium reduziert Siliciumdioxid zu Silicium, kleine Siliciumkügelchen führen wiederum zu unerwünschten Spannungen (Versuch 18: Reduktion zu Silicium). Weitere Metalle wie Zinn oder Eisen wirken in der Schmelzwanne korrosiv und können diese stark beschädigen.

## 1.8 Emaille

Bei Emaille (oder eingedeutscht Email) handelt es sich um ein niedrigschmelzendes Glas, welches zum Schutz oder zur Zierde auf Metalle (Fe, Al, Cu) aufgeschmolzen wird. Ausgangsstoffe sind Quarz, Borax, Borsäure, Kali- und Natronsalpeter, Bleiweiß und Tonerde. Darüber hinaus werden färbende Oxide eingesetzt.

In der Industrie werden auf ein Eisenwerkstück normalerweise zwei Emailleschichten aufgebracht: Die erste Schicht (Grundemaille) enthält Kobaltoxid (blau) und wird bei 800-900°C auf die Metalloberfläche gebrannt. Dabei entsteht ein Lokalelement: Das unedlere Eisen wird reduziert, die glatte Oberfläche wird angegriffen und angeraut, wodurch sie wirksam mit der Emaille verzahnt. Anschließend wird farbige Deckemaille aufgeschmolzen.

Für eine erfolgreiche Behandlung muß die Emaille in ihrer Zusammensetzung so gewählt werden, dass ihr Wärmeausdehnungskoeffizient dem des Metalls angepasst ist, sonst bricht oder platzt die Schicht beim Abkühlen.

Versuche zum Aufbrennen von farbiger Emaille auf kleine Kupferplättchen und Schmuckstücke können in der Schule durchgeführt werden (Versuch 19: Emaille). Farben, Kupferformen und Brennwerkzeuge können in Bastelläden bestellt werden. Zum Teil enthalten die käuflichen fertigen Farbglasspulver Blei- und Cadmium. Die Gesundheitsgefährdung ist jedoch relativ gering, da die verwendeten Gläser schwerlöslich sind.

## 1.9 Glaskeramik

Die **Kristallisation** eines Glases ist häufig ein unerwünschter Nebeneffekt, in Glaskeramiken wird sie jedoch gezielt herbeigeführt. Dafür gibt man der Schmelze Stoffe (z.B.  $\text{TiO}_2$ ) zu, die in der Glasschmelze schwerlöslich sind und daher beim Abkühlen homogen und sehr fein (im nm-Bereich) auskristallisieren. Diese **Keime** fördern das Kristallwachstum<sup>17</sup>.

Glaskeramiken enthalten 30 - 95 % kristalliner Bereiche und sind je nach Gehalt und Größe der Kristalle in ihren Materialeigenschaften mit Gläsern und Keramiken vergleichbar. So kann man Glaskeramiken herstellen, die sich im Gegensatz zu Gläsern beim Erwärmen nicht ausdehnen oder die sich leichter bearbeiten lassen als die spröden und harten Keramiken.

Ein bekanntes Beispiel ist das **Cerankochfeld**, welches in modernen Kochherden häufig eingesetzt wird. Die Temperaturübertragung erfolgt hier nicht nur durch Wärmeleitung sondern hauptsächlich durch Wärmestrahlung durch das Glaskeramikfeld. Der Energieverbrauch sinkt um 10 – 20 %<sup>18</sup>. Die Kochfläche ist so konzipiert, dass sie beim Erhitzen keine Wärmeausdehnung erleidet (Spannungen) und extrem stoßfest ist.

Darüber hinaus wird der Einsatz von Glaskeramik-Materialien in der Medizintechnik als **Knochenersatz** erforscht. In der Zahnheilkunde werden seit längerem Füllzemente und massive Füllungen („Inlays“) auf Basis von Glaskeramik eingesetzt.

---

<sup>17</sup> Neue Werkstoffklasse Glaskeramik

Rüssel C., Spektrum der Wissenschaft, 12 (1997), S.102-104

<sup>18</sup> Die Glaskeramik-Kochfläche

Linsmeier K.-D., Spektrum der Wissenschaft, 10 (2000), S.117

## **1.10 Experimente zum Thema Glas**

- V 1:** Ziehen einer Kapillare, Blasen einer Glaskugel, Herstellung einer kleinen Glasschnecke
- V 2:** Die Glasstruktur - ein einfaches Kugelmodell
- V 3:** Entglasen
- V 4:** Herstellung gewinkelter Glasrohre
- V 5:** Bonbons aus einer Zuckerschmelze
- V 6:** Herstellung von Farbglas
- V 7:** Absorption von UV-Strahlung
- V 8:** Absorption von IR-Strahlung
- V 9:** Hydrolytische Beständigkeit eines Glasgrieß
- V 10:** Mineralwasser in einem geritzten bzw. gebutterten Trinkglas
- V 11:** Glasflasche als Hammer
- V 12:** Leitfähigkeit eines schmelzenden Glasstabs
- V 13:** Leitfähigkeit der Glasschmelze
- V 14:** Wasserglas: Kleben von Papier, Herstellen einer Gießereiform
- V 15:** Der chemische Garten
- V 16:** Herstellung von Glas
- V 17:** Silberspiegel
- V 18:** Reduktion zu Silicium
- V 19:** Emaille
- V 20:** Der Zebratest

## Versuch 1: Ziehen einer Kapillare, Blasen einer Glaskugel, Herstellen einer kleinen Glasschnecke

**Dauer:** 10 - 20 Minuten

**Geräte/Chemikalien:**

- Bunsenbrenner
- Glasrohr (Wandstärke 1,5 mm) aus AR-Apparateglas oder Thüringer Glas
- Glasschneider
- Feuerfeste Unterlage
- Schutzbrille



**Durchführung:**

Zunächst schneidet man das Glasrohr mit Hilfe des Glasschneiders auf eine handliche Länge zu (etwa 30-40 cm). Nun zieht man an beiden Seiten des Glasrohrs je eine Kapillare aus, so dass der Abstand in der Mitte zwischen den Kapillaren etwa 10 cm beträgt.

*Das Ziehen einer langen Glaskapillare erfordert etwas Übung. Das Glas wird in der heißen Bunsenbrennerflamme erhitzt, bis es sehr weich ist. Dabei dreht man das Glas ständig, um ein gleichmäßiges Erhitzen zu erreichen und um zu verhindern, dass sich das weiche Glas unter Wirkung der Erdanziehungskraft nach unten durchbiegt. Man hält das Glasrohr zwischen den Fingern und dreht es mit beiden Händen gleichzeitig. Als Anfänger neigt man dazu, das Glas schon in der Flamme auseinander zu ziehen. Man sollte aber versuchen, durch vorsichtiges Drücken Glas „anzusammeln“. Die Kapillare sollte etwa 10 – 15 cm lang und möglichst gerade sein.*

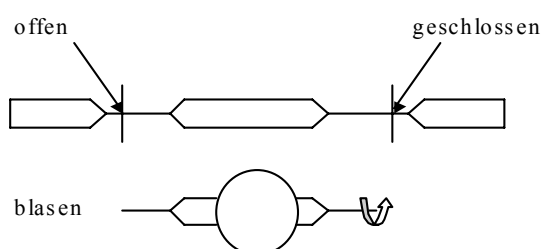
Das überstehende Glasrohr wird an der einen Seite abgeschmolzen. Das andere Ende wird mit dem Glasschneider abgetrennt. Man erhitzt das Mittelstück kräftig in der Bunsenbrennerflamme, nimmt es aus der Flamme heraus und bläst es mit dem Mund unter ständigem Drehen auf. *Vergisst man das Drehen, so ergibt sich eine eiernde Form.*

*Um eine Auflagefläche zu schaffen, kann die Glaskugel ganz vorsichtig erhitzt werden und dann auf einer flachen Oberfläche gedrückt werden (am besten aus Graphit).*

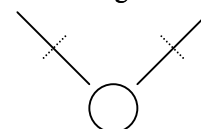
*Die geschlossene Glaskapillare kann dann abgeschmolzen werden. Um eine schöne Rundung zu erhalten und um Spannungen zu vermeiden, erhitzt man diesen „Kopf“ der Schnecke in der Bunsenbrennerflamme und bläst ihn dann vorsichtig leicht auf. Das abgetrennte Stück der Glaskapillare kann für die Fühler der Schnecke verwendet werden. Dafür werden Schneckenkopf und Kapillarspitze vorsichtig in der Flamme erhitzt, bis sie klebrig-weich sind und dann aneinander gedrückt. Der Fühler wird in der gewünschten Länge abgeschmolzen. Zuletzt wird auch die andere Kapillare vom Werkstück in der Flamme abgetrennt.*

*Um Spannungen zu vermeiden, erhitzt man das Werkstück in der kalten Flamme noch vorsichtig nach.*

Skizze:



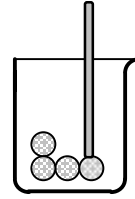
Kapillaren werden als Fühler angesetzt



## Versuch 2: Die Glasstruktur – ein einfaches Kugelmodell

### Geräte/Chemikalien:

- Becherglas
- Glasstab
- Kugeln (aus Styropor, Holz, Plastik, Schokolade, Erbsen)



### Durchführung:

Man gibt so viele Kugeln in ein Becherglas, dass mindestens 3 Kugelebenen aufgebaut werden. Dabei stellt man fest, dass sich die Kugeln von selbst in einen geordneten Zustand einordnen (Kristall). Der Platz im Becherglas wird optimal ausgenutzt. „Fehlstellen“ können durch leichtes Hin- und Herbewegen des Glases einfach ausgeglichen werden. Das ausgefüllte Volumen wird mit Hilfe eines wasserfesten Stiftes am Becherglas angezeichnet.

Nun beginnt man mit einem Glasstab im Becherglas zu rühren, um den flüssigen Zustand zu veranschaulichen. Die Bewegungsenergie der Teilchen ist nun größer. Die Kugeln sind in ständiger Bewegung und verschieben sich gegeneinander. Wie in der Glasschmelze liegt hier ein dynamischer Prozess mit ständiger Neuorganisation vor.

Nimmt man den Glasstab nun vorsichtig aus dem Becherglas, so bleibt ein Zustand geringerer Ordnung erhalten (Glas). Der Raum im Becherglas ist nun deutlich schlechter ausgefüllt. Es sind Lücken zu erkennen. Das größere Volumen, welches die Kugeln nun einnehmen, wird ebenfalls angezeichnet. Man sagt, dieser ungeordnete Zustand wurde eingefroren.

Schüttelt man das Becherglas, so ordnen sich die Kugeln wieder zu einer optimalen Raumauffüllung an. Thermodynamisch bedeutet es, dass die Teilchen vom Glaszustand in das energieärmere, kristalline Gerüst überführt werden.

## Versuch 3: Entglasen

### Geräte/Chemikalien:

- Bunsenbrenner
- Glasrohr aus AR-Apparateglas, Thüringer Glas
- Schutzbrille



### Durchführung:

Wird ein Glas längere Zeit oberhalb der Glastemperatur  $T_g$  erhitzt, so tritt teilweise Kristallisation ein. Man nennt diesen Vorgang „Entglasen“, weil das Glas dabei vom glasigen in den kristallinen Zustand übergeht.

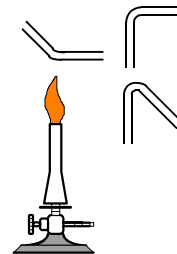
Dieser Vorgang kann einfach in der Schule vorgeführt werden. Ein Glasrohr wird in der kalten Bunsenbrennerflamme etwa 15 cm über dem Brenner erwärmt. Es erweicht dabei nur sehr langsam. Nach etwa 5 bis 10 Minuten kann man das Glas leicht biegen. An der Biegestelle erkennt man schon mit dem bloßen Auge kleine Kristalleinschlüsse von Cristobalit ( $\text{SiO}_2$ ) und Wollastonit ( $\text{CaSiO}_3$ ).

Die Kristalle können gut unter einer Lupe oder einem Mikroskop betrachtet werden.

## Versuch 4: Herstellung gewinkelter Glasrohre

### Geräte/Chemikalien:

- Bunsenbrenner
- Glasrohr aus AR-Apparateglas oder Thüringer Glas
- Feuerfeste Unterlage
- Schutzbrille



### Durchführung:

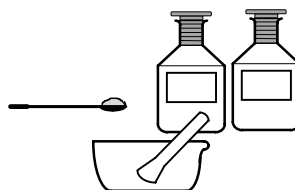
Ein Glasrohr wird unter ständigem Drehen in der Bunsenbrennerflamme erhitzt. Wenn es weich geworden ist, beginnt man es vorsichtig außerhalb der Flamme zu biegen. Dabei muss man darauf achten, dass das Glas an der gebogenen Stelle nicht einknickt, und der ursprüngliche Rohrdurchmesser erhalten bleibt. Gegebenfalls muss man das Glasrohr mehrmals in der Flamme erhitzen, um den gewünschten Winkel schließlich zu erhalten.

Eine eingeknickte Stelle kann durch leichtes Aufblasen wieder „repariert“ werden, das erfordert jedoch etwas Übung.

## Versuch 5: Bonbons aus einer Zuckerschmelze

### Geräte/Chemikalien:

- Uhrgläser, Spatel
- Waage
- Mörser und Pistill
- Porzellantiegel
- (Back-)Ofen
- Tiegelzange
- Backpapier, Plätzchenform
- Glucose oder Saccharose
- (Lebensmittelfarbstoffe, Citronensäure)



### Durchführung:

Man wiegt 5 g Glucose oder Saccharose ab und verreibt sie gut im Mörser. Für schönes Aussehen und Geschmack der Bonbons kann man einen Lebensmittelfarbstoff und etwas Citronensäure (säuerlich) untermischen.

Anschließend überführt man die Rohstoffe in eine Porzellanschale und erhitzt sie bei 170°C für 10 Minuten im vorgeheizten Backofen oder Muffelofen. Vorsicht: Ab 180°C wird die Masse schnell braun („Karamel“). Die geschmolzene Zuckermasse gießt man auf ein Blatt Backpapier in gewünschter Form aus. Diese Bonbons bleiben leider lange klebrig.

Weitere Bonbon-Rezepte - wie diese ungewöhnlichen - kann man im Internet finden,:

#### *Chili-Zimt-Bonbons:*<sup>19</sup>

Zutaten: 1 Tasse Zucker, 2 Kaffeelöffel Zimt, 2 kleine Chilis (!)

Den Zucker karamellisieren, die fein zerhackten Chilis und den Zimt zugeben und alles gut verrühren. Dann wird die Masse zum Abkühlen auf ein Backpapier ausgegossen.

#### *Rosenbonbons:*<sup>20</sup>

Zutaten: 500 g Zucker, etwas Rosenwasser, etwas Malvenblütentee

Den Zucker mit Rosenwasser und Malvenblütentee übergießen und aufkochen (die Masse wird durch den Tee rosa gefärbt), dann auf Backpapier ausgießen und erkalten lassen.

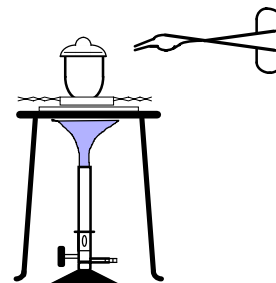
<sup>19</sup> <http://www.pepperworld.com/forum>

<sup>20</sup> <http://members.aol.com/vdrbremen/Rezepte/rezept13.htm>

## Versuch 6: Herstellung von Farbglas

### Geräte/Chemikalien:

- Spatel
- Mörser und Pistill
- Porzellantiegel mit Deckel
- Tiegelzange
- Bunsenbrenner
- Dreifuß und Tondreieck
- Graphitform
- Schutzbrille
- Natriummetaphosphat, Phosphorsalz, Natriumdihydrogenphosphat oder Borax
- Cobalt(II)-salz oder -oxid
- Kupfer(II)-salz oder -oxid



### Durchführung:

Für die Glasherstellung wählt man einen der genannten Rohstoffen (Natriummetaphosphat, „Phosphorsalz, Natriumdihydrogenphosphat oder Borax). Natriummetaphosphat hat hier den großen Vorteil, da es beim Erhitzen sehr viel weniger schäumt als die anderen Salze. Die Ausgangsmenge sollte den verwendeten Porzellantiegel zu etwa  $\frac{3}{4}$  (Natriummetaphosphat) bzw. zur Hälfte füllen. Bei Borax muss die Mindestmenge 6 g betragen, da die Schmelze hoch viskos ist und ein großer Teil davon beim Ausgießen bereits im Schmelztiegel erstarrt.

Das Salz wird mit einer Spatelspitze Cobaltnitrat versetzt und im Mörser gut verrieben. Die Rohstoffmasse wird dann in den Porzellantiegel überführt und mit dem Deckel abgedeckt. Der Tiegel wird so über dem Bunsenbrenner positioniert, dass sich der Boden im heißesten Bereich der Flamme direkt über dem bläulichen Kegel befindet. Der Tiegel wird für 10 Minuten erhitzt.

Danach öffnet den Tiegel mit Hilfe der Tiegelzange und gießt den Inhalt in eine Graphitform. Dabei ist darauf zu achten, dass nur kleine Glasstücke gegossen werden, da sonst zu große Spannungen beim Abkühlen entstehen (Bruchgefahr). Es entstehen intensiv blaue Glasstücke. Nach dem Erkalten (etwa 10 Minuten) kann man sie aus der Form nehmen. Gleiches wiederholt man mit Kupfer(II)oxid. Man erhält dabei ein kräftig blau-grünes Glas.

Mit Nickel(II)-Salzen erhält man zitronengelbes Glas. Bei Zugabe von  $\text{Mn(II)SO}_4$  färbt sich das Glas zartrosa.

**Achtung:** Bei diesem Versuch ist stets eine Schutzbrille zu tragen, da es vorkommen kann, dass stark verspannte Gläser unter Splitterbildung zerspringen. Hält man sich jedoch genau an diese Vorschrift (kleine Glasstücke, Abkühlen), so ist die Gefahr gering.

Die hergestellten Glassteine auf Basis von Natriummetaphosphat sind wasserlöslich. Da die Farbgläser Schwermetallionen ( $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ) enthalten, sollte man sie den Schülern nicht mit nach Hause geben.

## Versuch 7: Absorption von UV-Strahlung

### Geräte:/Chemikalien:

- UV-Lampe
- Fluoreszierende Platte oder Folie für die Dünnschichtchromatographie
- Glasplatte (z.B. Objektträger)
- Karton mit schwarzem Papier ausgekleidet
- (Sonnenbrille)

### Durchführung:

Für die Dünnschichtchromatographie werden Trennplatten angeboten, die mit einem Fluoreszenzfarbstoff versetzt sind, der bei Beleuchtung mit kurzwelligem UV-Licht grün fluoresziert. Man legt die Dünnschichtplatte in einen schwarzen Karton und bedeckt sie teilweise mit einer kleinen Glasplatte. Nun beleuchtet man sie mit der UV-Lampe. Vorsicht: nicht direkt in die Lampe sehen und Sonnenbrille tragen. Nur dort, wo UV-Licht ungehindert auf die Dünnschichtplatte trifft, leuchtet die Platte grünlich. Das Glas absorbiert dagegen die UV-Strahlung.

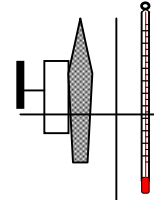
Probiert doch mal aus, wie es sich in Diskotheken mit Gläsern bei Schwarzlichteinstrahlung ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ ) verhält ! (Haltet ein Trinkglas vor ein leuchtend-weißes T-Shirt)



## Versuch 8: Absorption von IR-Strahlung

### Geräte/Chemikalien:

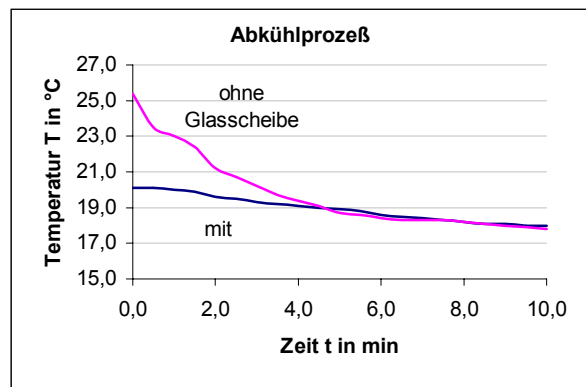
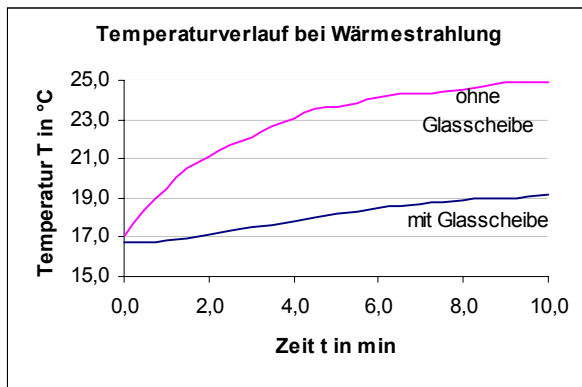
- Glasscheibe ,Bügeleisen
- (Digital-)Thermometer, Kerze



### Durchführung:

Das Bügeleisen wird auf maximale Temperatur eingestellt. Die Wärmeabstrahlung des Bügeleisens kann intensiviert werden, indem es zuvor mit einer Kerzenflamme berührt wird. Nun wird in zwei Messreihen die Temperatur in einem Abstand von etwa 4 –5 cm zum Bügeleisen gemessen: Einmal mit und einmal ohne dazwischen aufgestellter Glasplatte. Wird das Thermometer hinter der Glasplatte positioniert, so zeigt es zunächst keine Temperaturerhöhung an. Erst zeitlich verzögert tritt eine leichte Erwärmung auf, die bei Entfernen des Bügeleisens nur langsam wieder abfällt. Die Glasplatte absorbiert die Wärmestrahlung und erwärmt sich dadurch langsam. Nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz gibt die Glasplatte nun ihrerseits Wärmestrahlung ab, was zu der verzögerten Erwärmung bzw. Abkühlung führt.

Abbildung: Temperaturverlauf bei Wärmestrahlung des Bügeleisens und Abkühlprozess



Temperaturverlauf mit Glasscheibe

t in min	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T in °C										

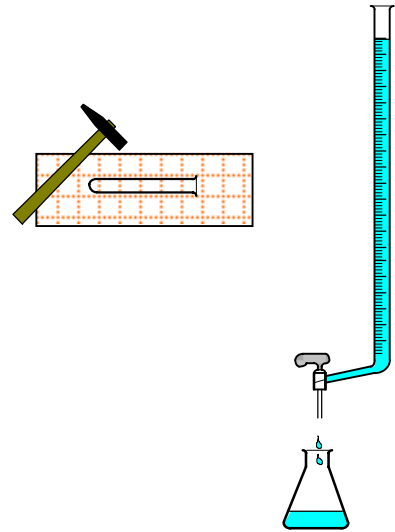
Temperaturverlauf ohne Glasscheibe

t in min	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T in °C										

## Versuch 9: Hydrolytische Beständigkeit eines Glasgrieß

### Geräte/Chemikalien:

- Getränkeflasche (z.B. Bierflasche)
- Tuch, Hammer
- Mörser und Pistill
- kleines Küchensieb
- Bechergläser
- Waage
- Heizplatte
- Wasserbad
- pH-Meter mit pH-Elektrode
- 0,01 mol/L Salzsäure
- Methylrot
- destilliertes Wasser



### Durchführung:

Die Untersuchung der hydrolytischen Beständigkeit ist ein klassisches Verfahren zur Charakterisierung eines Glases.

Die Glasflasche wird vorsichtig unter einem Tuch mit dem Hammer zu feinen Scherben zerschlagen (Schutzbrille !). Anschließend werden die Scherben im Mörser zu einem feinen Glasgrieß zerrieben. Größere Stücke werden mit Hilfe eines Küchensiebs abgetrennt.

2 g Glasgrieß werden mit 30 mL destilliertem Wasser versetzt und eine Stunde im siedenden Wasserbad erhitzt. Anschließend wird der Gehalt an Alkalilauge durch Titration mit einer Salzsäure-Maßlösung ( $c = 0,01 \text{ mol/L}$ ) gegen Methylrot als Indikator bestimmt.

Der Säureverbrauch lag bei eigenen Versuchen mit einfachem Gebrauchsglas zwischen 0,50 bis 1,50 mL, was einer  $\text{OH}^-$ -Konzentration von 0,005 – 0,015 mmol bzw. einem Basenäquivalent (als  $\text{Na}_2\text{O}$ ) zwischen 80 und 240  $\mu\text{g}$  pro Gramm Glasgrieß entspricht.

Man kann auch mit Hilfe eines pH-Meters sehr einfach die Änderung des pH-Wertes bei Zugabe eines Glasgrießes zu Wasser zeigen. Dafür wird der pH-Wert von 40 mL destillierten Wasser mit Hilfe des pH-Meters gemessen. Nun gibt man 4 g Glasgrieß dazu und rührt die Suspension einige Minuten. Misst man nun den pH-Wert, so kann man einen pH-Anstieg um etwa 2 Einheiten beobachten.

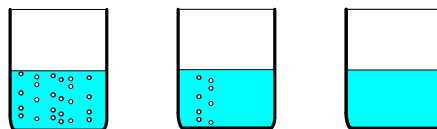
**Anmerkung:** Frisch hergestellter Glasgrieß ist reaktionsfreudiger. Liegt die Herstellung einige Zeit zurück, kann es zeitliche Abweichungen im Löseverhalten geben, da sich eventuell eine „Gelschicht“ ausbildet.

## Versuch 10: Mineralwasser in geritztem bzw. gebuttertem Trinkglas

Zwischen Wasser und der Glasoberfläche bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen aus. Deshalb sprudelt Mineralwasser nur an den Stellen, wo die Glasoberfläche durch Fehlstellen gestört oder durch Mikroverunreinigungen abgeschirmt ist. Diese Tatsache kann einfach sichtbar gemacht werden, indem man ein Glas mit Hilfe des Glasschneiders absichtlich verletzt bzw. es mit Butter einfettet.

### Geräte/Chemikalien:

- 3 Trinkgläser
- Glasschneider
- Spatel
- kohlendioxidhaltiges Mineralwasser
- Butter



### Durchführung:

Mineralwasser wird in drei Gläser gegossen, von denen ein Glas geritzt, ein anderes eingefettet wurde. Die Blasenbildung wird beobachtet. Der kleine Riss im Glas wird nun sehr gut sichtbar, da viele kleine Gasblasen an ihm aufsteigen. Auch an den gefetteten Stellen bilden sich große Blasen aus.

*Eine praktische Anwendung dieses Verfahrens findet man in vielen Lehrbüchern der präparativen Chemie. Dort wird man angewiesen, die Oberfläche eines Becherglases durch Reiben mit einem Glasstab zu verletzen, um die Kristallisation eines Salzes aus der wässrigen Phase zu beschleunigen.*

### Bemerkung:

Auch ein Artikel des National Geographic beschäftigt sich mit diesem Phänomen. Der Autor schreibt, dass es bis heute noch nicht klar sei, wie die Gasbläschen im Glas entstehen, ob an Verunreinigungen oder mikroskopischen Unebenheiten am Glas. Die Antwort lautet: Sowohl als auch!

Artikel aus der September 2001-Ausgabe des National Geographic-Magazins

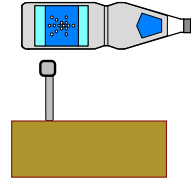


## Versuch 11: Glasflasche als Hammer

Gläser sind spröde Werkstoffe, deshalb zerbrechen sie unter Belastung, anstatt plastische oder elastische Deformation zu erleiden. Ist die Druckbelastbarkeit jedoch relativ hoch, so kann man eine Flasche als Hammer verwenden.

### Geräte:/Chemikalien:

- Holzscheit
- Nagel
- Getränkeflasche
- Schutzbrille und Schutzhandschuhe



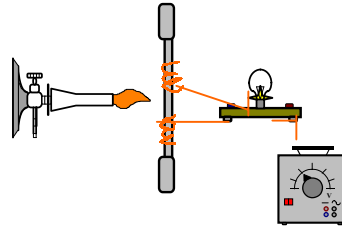
### Durchführung:

Ein Nagel wird mit Hilfe einer Flasche in einen Holzscheit geschlagen werden, ohne dass die Flasche bricht oder springt. Bei diesem Versuch muss auf alle Fälle eine Schutzbrille getragen werden.

## Versuch 12: Leitfähigkeit eines schmelzenden Glasstabs

### Geräte/Chemikalien:

- Netzgerät, Kabel
- Kupferdraht
- Glühlampe (24 V, für Lkw)
- Lampenfassung
- Glasstab
- Bunsenbrenner
- Feuerfeste Keramikhalterung
- Stativ, Klemmen, Muffen



### Durchführung:

Ein Glasstab (Rührstab) wird fest mit zwei Kupferdrähten umwickelt, so dass der Abstand zwischen den Enden etwa 1 cm beträgt. Das jeweils andere Ende des Kupferdrahts wird mit einem Kabel verbunden. Dabei ist es günstig, den Kupferdraht doppelt zu nehmen und um das Kabelende zu wickeln.

Die Kabel werden nun über eine Glühlampe mit einem Netzgerät verbunden. Wechselstrom wird angelegt und die Spannung auf etwa 20 V geregelt. Durch kurzzeitiges Zusammenführen der Kupferdrähte zeigt man, dass der Stromkreis nun geschlossen ist und die Lampe aufleuchtet.

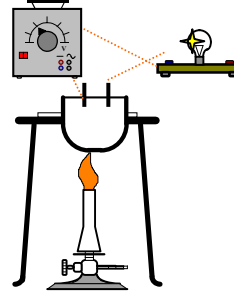
Man beginnt den senkrecht eingespannten Glasstab mit dem Bunsenbrenner kräftig zu erhitzen. Nach etwa 5 Minuten beginnt die Lampe aufzuleuchten. Das schmelzende Glas leitet nun den elektrischen Strom. Das Glas ist so weich, dass es droht, unter seinem Eigengewicht zusammenzusinken. Deshalb hat es sich als günstig erwiesen, den Glasstab durch eine feuerfeste Halterung zu stabilisieren.

Oberhalb der Glastemperatur  $T_g$  beginnt die Bunsenbrennerflamme gelb zu leuchten. Mit dem Spektroskop lassen sich die Netzwerkwandler Natrium und Calcium in der Flamme nachweisen.

## Versuch 13: Leitfähigkeit der Glasschmelze

### Geräte/Chemikalien:

- Netzgerät, Kabel
- 2 Kohleelektroden
- Glühlampe (24 V, für Lkw), Fassung
- Porzellantiegel mit Deckel
- Tiegelzange
- Bunsenbrenner
- Dreifuß und Porzellandreieck
- Schutzbrille
- Natriummetaphosphat



### Durchführung:

Ein Porzellantiegel wird zu etwa der Hälfte mit Natriummetaphosphat gefüllt. Die Kohleelektroden werden über die Glühlampe mit dem Netzgerät verbunden. Es wird mit Wechselstrom gearbeitet und eine Netzspannung von etwa 20 V eingestellt. Die Kohleelektroden werden in das Salz getaucht. Da das Salz den elektrischen Strom nicht leitet, leuchtet die Lampe nicht auf.

Nun wird der Porzellantiegel mit dem Deckel abgedeckt und etwa 10 Minuten lang über der heißen Bunsenbrennerflamme erhitzt. Dann wird die Flamme weggenommen und der Tiegel geöffnet. Die Kohleelektroden werden in die Glasschmelze getaucht, woraufhin die Lampe aufleuchtet. Mit Ansteigen der Viskosität der Schmelze beim Abkühlen leuchtet die Lampe zunehmend schwächer, bis sie schließlich erlischt.

## Versuch 14: Wasserglas: Kleben von Papier, Herstellen einer Gießereiform

### Geräte/Chemikalien:

- Bechergläser
- Papier und Pinsel
- Frischhaltefolie
- Uhr- oder Becherglas
- Glasstab, Spatel
- Schutzbrille
- Wasserglaslösung (Natriumsilicat- oder Kaliumsilicatlösung) oder aus Handel
- Sand



### Durchführung:

#### **Teil 1: Kleben von Papier**

Bei Wasserentzug (Verdunsten) steigt die Viskosität von Wasserglaslösungen. Sie werden klebrig und erstarren glasig. Das nutzt man zum Beispiel zum Kleben von Kartonhülsen für Zeitungspapierrollen oder auch zum feuerhemmenden oder wasserabweisenden Imprägnieren von Papier, Pappe oder Stoff.

Es werden zwei Blätter Papier mit einem Pinsel dünn mit der Wasserglaslösung bestrichen und aufeinander gedrückt. Nach dem Trocknen (etwa 5 Minuten) kleben sie fest zusammen.

#### **Teil 2: Herstellen einer Gießereiform**

In der Gießereiindustrie stellt man mit Hilfe von Wasserglas Gusskerne aus Sand her. Der Sand wird mit dem Wasserglas versetzt und dann mit Kohlendioxid begast (Neutralisation). Dabei verklebt das Wasserglas den Sand zum einem festen Kern, der als Form für Gussteile aus Stahl eingesetzt wird.

Die Wasserglaslösung wird in einem Becherglas mit viel Sand zu einem dicken Brei verrührt. Das Uhr- oder Becherglas wird mit einer Frischhaltefolie überzogen. Nun wird der Brei mit dem Spatel auf dem Glas verteilt. Man lässt die Gießereiform über Nacht trocknen. Am nächsten Tag ist sie fest geworden und kann herausgenommen werden.

Bei der Verwendung von großen Gläsern kann es aufgrund der Dicke des eingefüllten Wasserglasbreis zu Trocknungsproblemen kommen. Um die Dicke des Breis möglichst gering zu halten, sollte deshalb die Mitte der Gießform mit einem anderen Füllstoff (zum Beispiel mit Kork) ausgefüllt werden, der dann nach dem ersten Antrocknen herausgenommen wird. So kommt es zu einem schnelleren und vollständigen Trocknen der Gießform

## Versuch 15: Der chemische Garten

### Geräte:/Chemikalien:

- Becherglas, Messzylinder, Spatel
- Schutzbrille
- Wasserglaslösung, destilliertes Wasser
- Stücke oder Kristalle von Eisen(III)-chlorid

### Durchführung:

100 mL Wasserglaslösung werden im Verhältnis 1:1 mit destilliertem Wasser vermischt. Auf den Boden eines Becherglases verteilt man gleichmäßig möglichst große Stücke oder Kristalle von Eisen(III)-chlorid und übergießt sie mit der hergestellten Lösung. Nach kurzer Zeit beginnen die Kristalle wie Pflanzen auszusprosseln. Ein brauner Garten mit üppiger Vegetation entsteht.



### Bemerkung:

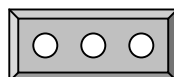
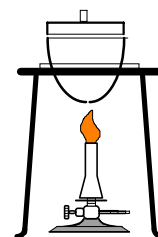
Der beobachtete Effekt lässt sich folgendermaßen erklären: Das Wasserglas reagiert mit den Metallionen zu schwerlöslichen Metallsilicaten. Dabei bildet sich eine semipermeable Membran aus einer Metallsilicatschicht. Da die Konzentration an gelösten Metallionen zwischen Membran und Salzkristall höher ist als im Außenraum, strömt Wasser durch die Membran (osmotischer Effekt). Die Membran platzt nach einer Weile, das Loch wird aber sofort wieder durch neu gebildetes Metallsilicat geschlossen. Die Salzkonzentration ist am höchsten Punkt der Membran am niedrigsten, deshalb platzt sie bevorzugt an dieser dünnsten Stelle. Die „Pflanzen“ wachsen wie in der Natur nach oben. Der chemische Garten wird häufig zur Erläuterung des osmotischen Effekts eingesetzt.

**Achtung:** Die Wasserglaslösung reagiert aufgrund teilweiser Hydrolyse der Alkalisilicate alkalisch, deshalb ist bei dem Versuch eine Schutzbrille zu tragen.

## Versuch 16: Herstellung von Glas

### Geräte/Chemikalien:

- Spatel
- Mörser und Pistill
- Porzellan- oder Korundtiegel (teuer) mit Deckel
- Magnesiumrinne
- Tiegelzange
- Bunsenbrenner
- Dreifuß und Tondreieck
- Graphitform
- Glasstab
- Schutzbrille
- Natriumdihydrogenphosphat,
- „Phosphorsalz“ oder Borax
- Natriummetaphosphat



### Durchführung:

Je nach verwendeter Tiegelgröße können im Unterricht 5 - 20 g von **Natriumdihydrogenphosphat**, „**Phosphorsalz**“ oder **Borax** innerhalb von etwa 10 Minuten über der Bunsenbrennerflamme eingeschmolzen werden. Die Salze schäumen beim Erhitzen stark auf, deshalb darf der verwendete Tiegel nur zur Hälfte gefüllt werden. Beim **Borax** sollten mindestens 6 g Rohstoff eingesetzt werden. Geht man von **Natriummetaphosphat** als Rohstoff aus, so kann der Porzellantiegel zu  $\frac{3}{4}$  mit dem Salz gefüllt werden.

Der Tiegel wird so über dem Bunsenbrenner positioniert, dass sich der Boden im heißesten Bereich der Flamme direkt über dem bläulichen Kegel befindet. Ist der Rohstoff völlig geschmolzen und ist die Schmelze klar, so entfernt man die Flamme und gießt die Schmelze mit Hilfe der Tiegelzange in Graphitformen aus.

Die gegossenen Gläser sollte man mindestens 10 Minuten in der Form abkühlen lassen. Sie werden langsam fest und sind noch lange etwas klebrig. Mit Hilfe eines Glasstabs kann man versuchen, aus der abkühlenden Schmelze Glasfäden zu ziehen.

*Da das Glas nicht geläutert wurde, sind kleine Gasblasen in die hergestellten Glasstücke eingeschlossen. Reste der Glasschmelze im Schmelztiegel brechen oft beim Festwerden. Dabei klirren sie sehr schön. Im Tiegel ist dann ein feines Rissmuster zu erkennen, manchmal zerbricht dabei auch der Tiegel selbst.*

*Graphitformen eignen sich besonders gut für die Formgebung, da das heiße Glas aufgrund eines feinen oberflächlichen Pulverfilms nicht am Graphit anhaftet. Da sich der Graphit durch das heiße Glas erwärmt, wird ein zu schnelles Abkühlen verhindert, Spannungen im Glas werden vermieden.*

*Das Tiegelmateriale kann mit verdünnter Salz- oder Salpetersäure (ggf. durch Kochen) gereinigt werden, ein großer Teil der Rückstände kann einfach aus dem Tiegel herauskratzt werden. Die Porzellantiegel können immer wieder zum Glasschmelzen eingesetzt werden, sofern sie keine Risse aufzeigen.*

## Versuch 17: Silberspiegel

### Geräte/Chemikalien:

- 2 Bechergläser , Reagenzgläser
- Spatel, Waage
- Tropfpipette
- Schutzbrille, Schutzhandschuhe (Silberlösungen hinterlassen schwarze Flecken auf der Haut)
- Glucose
- Ammoniak (konz.)
- Kaliumhydroxid
- Silbernitrat
- destilliertes Wasser



### Durchführung:

**Silberlösung:** Man löst 1 g  $\text{AgNO}_3$  in 20 mL destilliertem Wasser. Dann versetzt man die Lösung mit konzentriertem Ammoniak, bis sich der gebildete schwarzbraune Niederschlag durch Komplexbildung gerade wieder auflöst. Die klare Lösung wird mit destilliertem Wasser auf 100 mL aufgefüllt.

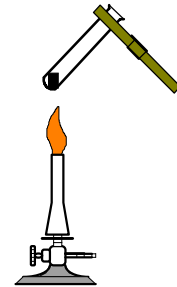
**Reduktionslösung:** Man löst 0,4 g Glucose und 0,9 g KOH in 100 mL destilliertem Wasser.

Das zu versilbernde Reagenzglas wird zunächst gereinigt. Die Oberfläche soll völlig sauber und fettfrei sein. Nun gibt man die Silberlösung und die Reduktionslösung im Verhältnis 1:1 in das Becherglas. Nach wenigen Minuten bildet sich ein schöner Silberspiegel (der mit der Geschirrbürste wieder entfernt werden kann). Schneller geht es noch, wenn man das Reagenzglas in der Hand oder einem Wasserbad leicht erwärmt

## Versuch 18: Reduktion zu Silicium

### Geräte/Chemikalien:

- Reagenzglas
- Bunsenbrenner
- Spatel
- Reagenzglaszange
- Schutzbrille
- Aluminium



### Durchführung:

Die Reduktion der Silicate durch Aluminium kann einfach in der Schule durchgeführt werden. Man gibt dafür einige Aluminiumgranalien, ein Stückchen Aluminiumblech oder Aluminiumfolie in ein Reagenzglas und erhitzt anschließend in der Bunsenbrennerflamme einige Minuten bis zur Rotglut. Nach dem Abkühlen erkennt man an der Reagenzglaswand das gebildete schwarze Silicium.

### Bemerkung:

Bei der Glasproduktion werden neben den Rohstoffen 40 - 90 % gemahlene Altglasscherben eingeschmolzen und damit wiederverwertet (Recycling). Probleme treten durch Unrat auf, der mit in die Sammelcontainer geworfen wird. Dort finden sich z.B. oft Schraubdeckel aus Aluminium. Sie müssen sorgfältig abgetrennt werden, da durch diese unerwünschten „Sammelobjekte“ folgendes Problem auftritt: Aluminium reduziert Siliciumdioxid zu Silicium, es entstehen kleine Siliciumkugeln. Diese führen zu unerwünschten Spannungen im neuen Glas. Es besteht hohe Bruchgefahr, deshalb dürfen diese Artikel nicht in den Handel gelangen.

## Versuch 19: Emaille

Emaille ist ein niedrig schmelzendes Glas, welches zum Schutz oder zur Zierde auf Metalle aufgeschmolzen wird. Es wird in diesem Versuch aus Emaillepulver gewonnen, welches verschiedene Farben haben kann und so schöne Farbvermischungen entstehen.

### Geräte/Chemikalien:

- Kupferform
- Becherglas, Papiertuch
- Emaillefarbe
- Küchensieb
- Tondreieck
- Papierblatt
- Spatel
- Muffelofen und Keramikplatte bzw. Bunsenbrenner mit Dreifuß
- Schmirgelpapier
- Essigsäure konz.



### Durchführung:

Ein Kupferplättchen wird zunächst in konzentrierter Essigsäure gereinigt und dann mit einem Papiertuch getrocknet. Es soll völlig sauber und fettfrei sein. Nun wird es auf das Tondreieck und dieses dann auf ein Blatt Papier gelegt. Man bestreut es mit Hilfe eines kleinen Küchensiebs gleichmäßig mit der Emaillefarbe. Mit dem Spatel hebt man das bestreute Plättchen dann vorsichtig ab, um es auf die Brennunterlage zu legen. Das restliche Emaillepulver kann mit Hilfe des Papiers zurück in das Vorratsgefäß geschüttet werden.

Ist ein Muffelofen in der Schule vorhanden, so kann das Emaille darin bei 750 - 900°C (siehe Angabe auf der Farbe) innerhalb weniger Minuten aufgebrannt werden. Es empfiehlt sich das Werkstück dafür auf eine Keramikplatte zu legen.

Auch über der Bunsenbrennerflamme kann die Emaille aufgeschmolzen werden. Dazu legt man das Tondreieck mit dem bestreuten Kupferplättchen auf den Dreifuß und positioniert es über der heißen Brennerflamme. Nun erhitzt man es eine Minute lang bis zur Rotglut und lässt es anschließend abkühlen.

Verschiedene Farben können auf ein Plättchen aufgetragen werden, indem man Teile des Plättchens beim Bestreuen vorsichtig mit Papier abdeckt. Weiterhin können mehrere Emailleschichten verschiedener Farben nacheinander auf das Plättchen aufgebrannt werden.

Auf der Rückseite des Plättchens hat sich beim Brennen eine Schicht von schwarzem Kupfer(II)-oxid gebildet. Sie kann mit Hilfe des Schmirgelpapiers entfernt werden.

### Bemerkung:

Emaillefarben und Kupferplättchen (Anhänger, Broschen) können über Bastelläden bezogen werden. Dort erhält man auch das Brennwerkzeug (Brennschaufel, Keramikeinsatz zum Schutz des Ofens).

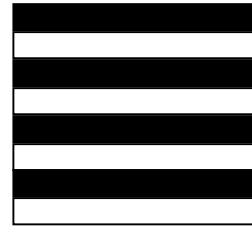
## Versuch 20: Der Zebratest

Der Zebratest ist ein einfacher Versuch zur Qualitätsprüfung, der in der Glasindustrie vielfach eingesetzt wird. Mit diesem Versuch können neue qualitativ hochwertige Fensterscheiben, die mit dem Floatglasverfahren hergestellt wurden, einfach von alten Fensterscheiben unterschieden werden.

**Dauer:** 5 Minuten

**Geräte/Chemikalien:**

- Overhead-Projektor
- Folie mit Zebromuster
- Verschiedene Glasscheiben (möglichst eine Probe alter Doppeltglasscheiben)



**Durchführung:**

In einem abgedunkelten Raum wird mit Hilfe des Overhead-Projektors ein Zebromuster an die Wand projiziert. Die Scheiben werden so unter dem Wandbild auf einen Tisch gelegt, dass sich das Muster in ihnen spiegelt.

Die alten Fensterscheiben sind nicht ganz gleichmäßig dick, was mit dem bloßen Augen kaum erkannt wird, sich aber daran deutlich zeigt, dass die Streifen des Zebromusters in der Spiegelung nicht gerade, sondern unterbrochen sind.