

## Wir bauen ein Thermometer

### Einleitung

In diesem Praktikum geht es um die Bearbeitung von Glas. Am Ende dieses Praktikums kannst du dein selbst hergestelltes Thermometer nach Hause nehmen.

Glas war schon im Altertum bekannt. In Ägypten gefundene Glasscherben sind über 5000 Jahre alt. In Nordeuropa kennt man Glashütten aus dem 10. Jh. n. Chr. in Böhmen und Bayern. Glas begegnet uns tagtäglich: Fensterscheiben, Trinkgläser und Blumenvasen aus Glas. Auch der (schnelle) weltweite Datenaustausch über Computer (Internet) ist auf Glas angewiesen: Die digitalen Daten werden über Glasfaserkabel hin- und hergeschickt. Viele Geräte im Chemielabor sind ebenfalls aus Glas: z.B. Reagenzgläser, Rund- und Erlenmeyerkolben, Flaschen, Bechergläser und Schalen, Messzylinder, Pipetten, Büretten, Verbindungsrohre. Der vielseitige Einsatz von Glas ergibt sich aus dessen charakteristischen Eigenschaften:

- durchsichtig
- hitzebeständig bis mehrere hundert Grad Celsius
- resistent gegenüber den meisten Chemikalien
- Licht durchläuft einen Glasstab, ohne gestreut zu werden
- gasdicht
- relativ leicht zu bearbeiten (biegen, zusammenschmelzen, ausblasen)

- |  |
|--|
| <p><b>Lernziele:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Du kannst die Herstellung, die allgemeine Zusammensetzung und Eigenschaften sowie den Aufbau von normalem Glas beschreiben.</li><li>• Du erlangst eine gewisse Fertigkeit und Sicherheit in der Glasbearbeitung, sodass du selbstständig in der Lage bist, Glaswaren im Labor bei Bedarf zu modifizieren.</li></ul> |
|--|

### Wie wird Glas hergestellt?

Glas wird aus einer Mischung von Quarzsand, Kalk und Kaliumcarbonat oder Natriumcarbonat (Soda) erschmolzen. Je nach Verwendungszweck werden der Schmelze noch weitere Stoffe, v.a. Metalloxide zugegeben. Die zähflüssige Schmelze erstarrt beim Abkühlen zu einer durchsichtigen, relativ harten Masse. Glas kann gegossen (vor allem Flachglas) oder geblasen werden (Hohlgefäße). Grosstechnisch werden Flaschen und Kolben maschinell in gekühlte zweiteilige Formen geblasen.

Gläser unterscheiden sich von kristallinen Stoffen durch ihren unscharfen Schmelzpunkt. D.h., sie werden in einem weiten Temperaturbereich weich. Diese Eigenschaft ist zurückzuführen auf die unregelmäßigen Anordnung der Teilchen im Stoff Glas. Der Feststoff Glas ist also kein kristalliner Stoff, sondern ein amorpher ('formloser') Stoff [a (gr.): nicht; morphe (gr.): Gestalt].

Ausgangsstoff aller Gläser ist Quarz ( $\text{SiO}_2$ ). Im Quarz (z.B. Bergkristall) sind die Teilchen geometrisch regelmässig angeordnet und bilden ein Gitter. Quarz ist also ein kristalliner Stoff.

Beim Schmelzen eines Quarzkristalls werden einzelne Si–O–Si-Bindungen aufgespalten. Kühlt man die Schmelze ab, so wird die Schmelze hart, ohne zu kristallisieren. Die Si–O–Si-Bindungen werden zwar wieder geknüpft, die Silicium- und Sauerstoffteilchen werden jedoch nicht mehr regelmässig in einem Gitter angeordnet. Der Quarz wurde amorph. Weil nun nicht mehr alle Atome respektive Teilchen eine gleiche Umgebung aufweisen, beobachtet man keinen scharfen Schmelzpunkt mehr, sondern das für Gläser typische Erweichen.

### Quarzglas

- Herstellung:* Erhält man direkt aus geschmolzenem Quarz.
- Eigenschaften:* Sehr hitzebeständig, Erweichungstemperatur über 1400 °C. Geringe Wärmeausdehnung: Glühendes Quarzglas zerspringt auch bei Abkühlung mit Wasser nicht.
- Anwendung:* Geräte und Apparaturen, die starke Temperaturwechsel ertragen müssen.

### Natron-Kalk-Gläser (Normalglas)

- Herstellung:* Quarz, Kalk (CaCO<sub>3</sub>), Soda (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) oder Natron (NaHCO<sub>3</sub>) werden verschmolzen, wobei Natriumoxid, Calciumoxid entstehen sowie Kohlendioxid entweicht:  
$$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + 2 \text{CO}_2$$
  
Zusammensetzung: 75.5 % SiO<sub>2</sub>, 12.9 % Na<sub>2</sub>O, 11.6 % CaO.
- Eigenschaften:* Na<sub>2</sub>O und CaO stören den Aufbau eines Kristallgitters. Die Struktur von Natron-Kalk-Glas ist deshalb unregelmässiger als jene von Quarzglas. Folge: tiefe Erweichungstemperatur um 600 °C, geringe Temperaturschockdifferenz um 100 °C. Die chemische Beständigkeit ist weniger ausgeprägt als bei anderen Glassorten: Flusssäure (HF) sowie heisse Laugen greifen dieses Glas an.
- Anwendung:* Gewöhnliches Fensterglas, Normalglas, Gebrauchsglas

### Borosilikat-Gläser (Duran, Pyrex, Fiolax, Jenaer Glas)

- Herstellung:* Zugabe von diversen Metalloxiden (v. a. Bor- und Aluminiumoxid) zur Quarzschmelze.  
Zusammensetzung: 74.5 % SiO<sub>2</sub>, 8.5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4.6 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 7.7 % Na<sub>2</sub>O, 3.9 % BaO, 0.8 % CaO, 0.1 % MgO.
- Eigenschaften:* Höhere Erweichungstemperatur um 800 °C, bessere Temperaturschockdifferenz um 200 °C. Die chemische Beständigkeit ist gut.
- Anwendung:* Bechergläser, Reagenzgläser, Erlenmeyerkolben

### Kali-Blei-Gläser (Bleikristallglas)

- Herstellung:* Zugabe von Bleioxid (PbO) zur Quarzschmelze.  
Zusammensetzung: 56 % SiO<sub>2</sub>, 32 % PbO, 11.4 % K<sub>2</sub>O, 0.1 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.5 % As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.
- Eigenschaften:* Bleioxid verändert die optischen Eigenschaften des Glases. Bleikristallglas bricht das Licht sehr stark.
- Anwendung:* Geschliffene Gegenstände als Gebrauchsgegenstände (Trinkgläser) und Schmuck/Dekor.

### Spezialgläser

- Gefärbte Gläser:* Erhält man durch Zugabe von geeigneten Metalloxiden. Grünes Flaschenglas zum Beispiel entsteht durch die Zugabe von Eisenoxid.
- Milchglas:* Als Trübungsmittel für Glas zum Beispiel eignen sich Calciumphosphat [Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>], Zinn(IV)-oxid (SnO<sub>2</sub>), Kryolith (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Solches Glas wird auch als Opalglas bezeichnet.
- Plexiglas:* Ist völlig anders aufgebaut und damit kein Quarzglas. Das unzerbrechliche Plexiglas ist ein Kunststoff wie etwa PET und wird ganz anders hergestellt.

## Versuch

### Geräte / Material (pro Person, nicht pro Gruppe)

- Glasstab zum Zuschneiden
- Pasteur-Pipetten (2 kurze, 1 lange)
- Glasrohr (Aussen-Ø: 5mm, Innen-Ø: 3mm) zum Zuschneiden
- Bunsenbrenner
- Glasfeile
- Thermometer
- wasserfester Filzstift
- Korkbohrer für Kartonbearbeitung, mit Unterlage (zentral)
- Massstab
- Schere
- Schutzbrille
- Karton, Draht, Japanmesser (zentral)

### Chemikalien

- Methylviolett oder Methylrot (alkoholische Lösungen), zentral

- Sicherheit:**
- Man sieht Gläsern nicht an, ob sie *heiss* oder kalt sind. Man kann heisse Glasstücke jedoch erkennen, indem man die hohle Handfläche knapp über das Glas hält und so eine mögliche Wärmeabstrahlung wahrnimmt.
  - Beim Glasschneiden respektive Glasbrechen muss zum Schutz vor Splintern die *Schutzbrille* getragen werden.
  - Heisse Glasgegenstände nur auf hitzeresistenten Materialien deponieren. Die Arbeitsplatzoberfläche ist aus Keramik und somit dafür geeignet.

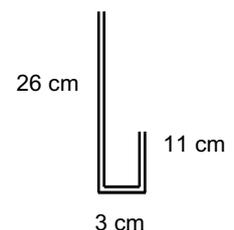
### (A) Glasbearbeitung (Erlangen der Fertigkeit)

#### 1. Schneiden und Rundschmelzen eines Glasstabs

- 1.1. Ein ca. 40 cm langes Glasstab-Stück soll aus einem langen Glasstab zugeschnitten werden. Ritze dazu den Glasstab an der gewünschten Bruchstelle mit einer Glasfeile einige Male kurz an.
- 1.2. Fasse nun den Glasstab links und rechts der geritzten Stelle und knicke ihn in zwei Teile. Die beiden Enden sind dabei leicht nach aussen zu ziehen.
- 1.3. Die scharfen Bruchflächen werden in der heissesten Zone des Gasbrenners abgerundet. Glasstab beim Erhitzen immer leicht drehen.

#### 2. Biegen eines Glasstabs

- 2.1. Der zugeschnittene Glasstab soll in eine U-Form gemäss nebenstehender Abbildung gebracht werden. Erhitze dazu den Glasstab an der ersten gewünschten Biegezone bis zum Erweichen. Der Glasstab ist dabei immer leicht zu drehen.
- 2.2. Beginnt sich der Glasstab von allein zu verbiegen, so ist die Erweichungstemperatur erreicht. Biege nun den Glasstab vorsichtig (jedoch trotzdem ohne zeitlichen Verzug) ausserhalb der Brennerflamme um 90°.
- 2.3. Nach dem Abkühlen soll nun der Glasstab ca. 2–3 cm neben der ersten Biegestelle ebenfalls um 90° abgewinkelt werden. Zu diesem Zweck wiederholst du die Schritte unter 2.1. und 2.2.



#### 3. Herstellung eines Glühröhrchens durch Abschmelzen eines Glasröhrchens

- 3.1. Entferne von einer ersten kurzen Pasteurpipette die Spitze – und zwar in der Mitte der Verjüngung der Pipette. Glasfeile benutzen.
- 3.2. Halte das dickere Ende mit der Bruchstelle in die Brennerflamme und erhitze es unter ständigem Drehen, bis das Ende zugeschmolzen ist. Du hast ein Glühröhrchen hergestellt.

#### 4. Herstellen einen Mini-Kölbchens

- 4.1. Erhitze nun ungefähr die letzten 2 cm des eben gefertigten Glühröhrchens, bis es sich in der Flamme zu biegen beginnt (Röhrchen immer drehen).
- 4.2. Nimm das Röhrchen aus der Flamme und blase unverzüglich die erhitzte Zone zu einem Kölbchen aus. Beobachte beim Blasen das Röhrchen.
- 4.3. Wiederhole Schritt 4.1. und 4.2., bis du mit deinem Resultat zufrieden bist.

#### 5. Herstellen von Kapillaren

- 5.1. Erhitze die Mitte der dicken Zone einer zweiten kurzen Pasteurpipette bis zum Erweichen.
- 5.2. Nimm die Pipette aus der Flamme und ziehe die beiden Enden relativ schnell auseinander. Du hast eine Kapillare hergestellt, die man zum Beispiel zum Auftragen von kleinsten Mengen an Lösung auf Dünnschichtchromatographie-Plättchen (vgl. CP später) gebrauchen kann.

### (B) Glasbearbeitung (Herstellen eines Gas-Thermometers)

#### 6. Herstellung des Glaskörpers aus Glasrohr

- 6.1. Schneide ein 40 cm langes Glasrohr zu und schmelze die scharfen Kanten rund.
- 6.2. Schmelze das eine Ende des Glasrohrs ab und blase dieses zugeschmolzene Ende zu einem Kölbchen aus.
- 6.3. Biege das Glasrohr zu einer U-Form mit ungefähr den gleichen Abmessungen wie unter (A).

*Wichtig:* Das Kölbchen befindet sich am kürzeren Schenkel des U-Rohrs (vgl. Muster respektive Abbildung rechts).



#### 7. Befüllen und Eichung des Glaskörpers

- 7.1. Befülle nun das Thermometer mithilfe einer Pasteur-Pipette mit zirka gleich viel Methylviolett oder Methylrot wie im Musterthermometer vorhanden ist (vgl. auch Abb. oben rechts). Es muss möglichst viel Flüssigkeit in den kürzeren Schenkel des U-Rohrs transferiert werden. Dies ist durch Anklopfen und mehrmaligem Drehen des U-Rohrs zu erreichen.

*Theorie:* Die Luft im Kölbchen ist das Medium, welches sich bei einer Temperaturerhöhung ausdehnt und damit den Alkohol verdrängt (Methylviolett oder Methylrot sind alkoholische Lösungen!). Die Verschiebung der Flüssigkeitssäule ist also ein Mass für die Temperaturveränderung (der Alkohol selbst dehnt sich nur sehr wenig aus.)

- 7.2. Lass heisses Leitungswasser aus dem Hahnen strömen. Einige Zeit laufen lassen. Halte die beiden Schenkel des U-Rohrs in den Wasserstrahl, sodass sich sowohl die Luft als auch die Flüssigkeit im Thermometer erwärmen.

Dehnt sich die Luft so stark aus, dass sie in Form von Gasblasen in den zweiten längeren Schenkel entweicht, so ist zu viel Luft respektive zu wenig Flüssigkeit im kürzeren Schenkel. Neu befüllen.

- 7.3. Trockne nun den längeren Schenkel und halte das U-Rohr mit dem Kölbchen in den heissen Wasserstrahl. Markiere zeitgleich mit einem Filz den Stand der roten Flüssigkeit im längeren Schenkel. Halte anschliessend den unteren Teil eines Thermometers in den Wasserstrahl und notiere dir die Temperatur (z. B. 43 °C).

- 7.4. Wiederhole nun Schritt 7.3., aber mit kaltem Leitungswasser (z. B. 23 °C).

- 7.5. (*Kapelle*) Bringe das Thermometer nun zur Lehrperson: Diese wird für dich die Öffnung am längeren Schenkel zuschmelzen – jedoch nicht ganz. Eine kleine Öffnung muss noch übrig bleiben, damit die Luft im Thermometer sich ausdehnen kann.

8. *Fertigstellung des Thermometers*

- 8.1. Halte das Thermometer auf einen Karton und markiere die Stellen gemäss Muster-Thermometer, wo du Löcher zur Halterung des Thermometers anbringen sollst. Erstelle nun die Löcher mit den zur Verfügung stehenden Werkzeugen. Für das Kölbchen braucht es auf jeden Fall ein grosses Loch.
- 8.2. Miss die Distanz zwischen den Flüssigkeitsständen der entsprechenden Temperaturen, z. B. 32 mm für  $(43\text{ °C} - 23\text{ °C}) = 20\text{ °C}$ . Halte nun das Thermometer richtig auf den Karton. Übertrage die Eichstellen des Glasrohrs auf den Karton. Erstelle nun eine entsprechende Temperatur-Skala auf dem Karton, z. B. von  $0\text{ °C}$  bis  $40\text{ °C}$ .
- 8.3. Befestige nun das Glasrohr mit Draht auf dem Karton. Dein Thermometer ist fertig und steht zum Einsatz zuhause bereit.

<p><b>Entsorgung:</b> Die Glühröhrchen sowie die Kapillaren kommen ins Altglas unter dem Lavabo. Die Glasstäbe wieder so gut wie möglich gerade biegen und der Lehrperson abgeben.</p>
--

## Recycling von Glasabfällen

### Umweltbelastung bei der Glasherstellung

- grosser Energieverbrauch
- CO<sub>2</sub>-Emission
- Landschaftsschäden durch Steinbrüche oder Sandgruben

### Problematische Beseitigung von Glasabfällen

- Glas als Müllbestandteil ist unzerstörbar und sehr voluminös
- Verletzungsgefahr (z. B. Glas im Papierkorb)
- Schwermetallhaltige Zusätze z. B. Blei in Bleiglas

### Vorteile des Glasrecyclings

- Energieeinsparung:  
10 % Altglasanteil führen zu einer Energieeinsparung von 2.5 %, 80 % Altglasanteil im Grünglas führt zu einer Energieeinsparung von 20 %. 100 % Altglas sparen 25 % Energie ein!
- Verkleinerung des Abfallvolumens

### Darauf kommt es beim Altglassammeln an:

#### *Vermischung von Weissglas mit Buntglas*

Altglas wird nach Farbe (weiss, braun, grün) separiert gesammelt. Geringste Spuren von Buntglas verunreinigen grosse Mengen Weissglasschmelze. So dürfen höchstens 0.2 % Buntglas ins Weissglas gelangen, ohne dass die Weissglasschmelze einen Farbstich erhält.

#### *Wohin mit roten und blauen Flaschen?*

Flaschen, deren Farbe man nicht eindeutig definieren kann, gehören ins grüne Fach des Altglas-Sammelcontainers.

#### *Keramik und Porzellan*

schmelzen nicht mit dem Glas. Kleine Stücke bewirken Spannungsrisse im fertigen Glas und machen dieses unbrauchbar.

#### *Verschlüsse und Ziermanschetten aus Aluminium*

bilden beim Einschmelzen von Glas mit Quarz elementares Silizium. Dieses erkennt man als schwarze, blätterige Einschlüsse, welche die Glasstabilität stark herabsetzen.

#### *Fensterglas, Glühbirnen und Leuchtstoffröhren*

sind beim Recycling unerwünscht. Fensterglas ist anders zusammengesetzt als Flaschenglas.

#### *Papieretiketten*

müssen nicht entfernt werden, da diese beim Glasschmelzen vollständig verbrennen.

#### *Laborglas (Duranglas usw.) und Kristallglas (Bleiglas)*

ist beim Recycling unerwünscht, da es eine von Normalglas stark abweichende Zusammensetzung hat.

#### *Opalglasflaschen*

Milchglas (z.B. Odolflaschen) stellt im Gegensatz zur gängigen Meinung nur in grösserer Menge ein Problem dar.

### Glasrecycling in der Schweiz

#### *Verbrauch und Rücklauf*

2021 wurden in der Schweiz 389579 t Glasverpackungen (44 kg pro Person) verbraucht. Davon wurden 370100 t (ca. 42 kg pro Person) im Rahmen der Glasammlung zurückgewonnen. Dies entspricht einem Rücklauf von 95 %.

#### *Verwendung*

Nur rund die Hälfte aller in der Schweiz verkauften Glasflaschen wird auch hier hergestellt. Darum kann nur rund ein Drittel des gesammelten Altglases im Inland zur Herstellung von neuen Glasbehältern eingesetzt werden. Die restlichen zwei Drittel werden entweder exportiert oder im Inland gemahlen und als Sand- und Kiesersatz in der Bauindustrie eingesetzt. Neben der gewöhnlichen Altglassammlung werden in einigen Gemeinden zusätzlich unbeschädigte Glasflaschen in speziellen Behältern gesammelt. Die Flaschen werden gereinigt, sortiert und anschliessend an Abfüllbetriebe zur Wiederauffüllung verkauft.

#### *Kosten*

Damit die Glasproduktion in der Schweiz konkurrenzfähig bleiben kann, erhebt die zuständige Firma (Vetro-Recycling) seit April 1995 bei den Gemeinden einen Entsorgungskostenbeitrag, der für die Ausortierung des mit dem Altglas angelieferten Abfalls (jährlich rund 6000 Tonnen) und zur Deckung der Exportkosten eingesetzt wird. Zusätzlich müssen die Gemeinden für die Kosten der Sammelcontainer aufkommen.

Wird Altglas dem Recycling zugeführt, entstehen den Gemeinden Entsorgungskosten von Fr. 80.– bis 120.– pro Tonne. Muss Altglas über die Kehrichtverbrennung 'entsorgt' werden, belaufen sich die Kosten auf Fr. 200.– bis Fr. 350.– pro Tonne.