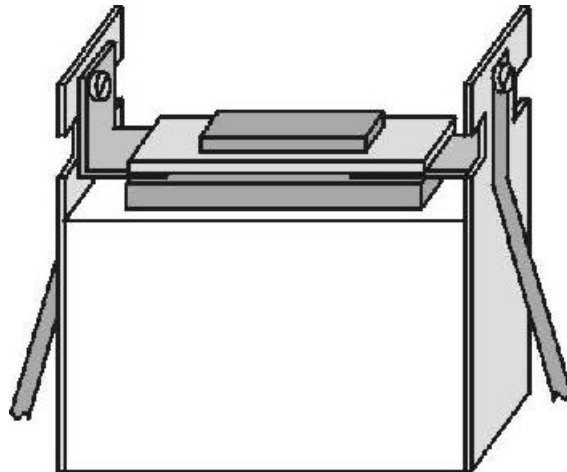


Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit von Glas unter Wärmeeinfluss



Wettbewerb „Jugend forscht / Schüler experimentieren“ 2002

*Maria Gabriel (15)
Miriam Garmatter (16)*

*Arbeitsgemeinschaft „Jugend forscht“
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg
Betreuung: StD Thomas Biedermann*

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Leitfähigkeit und andere Eigenschaften von Glas	3
3. Versuchsaufbau	4
3.1 Ziel unserer Experimente	4
3.2 Erzeugen der Messtemperatur	4
3.3 Objektträger	5
4. Durchgeführte Versuche	6
4.1 Untersuchte Materialien	6
4.2 Vorbereitung der Probe	6
4.3 Durchführung der Messung	7
5. Messungen	7
5.1 Beobachtungen und evt. Besonderheiten	7
5.2 Zusammenfassung der Messergebnisse mit Glas	8
5.3 Messung an einem Kohlestab	9
6. Deutung der Messergebnisse	9
6.1 Auswertung der Messungen an den Gläsern	9
6.2 Unerwartetes Verhalten bei hohen Temperaturen	10
6.3 Das Verhalten des Kohlestabes	11
7. Zusammenfassung	11
8. Verwendete Quellen	12
Danksagung	12

1. Einleitung

Glas ist ein alltäglicher Werkstoff, dem wir überall in unserer Umwelt begegnen: Fensterscheiben, Trinkgläser oder Spiegel bestehen aus diesem Material, weil es durchsichtig und dennoch sehr fest ist. Aber auch in der Elektrotechnik wird es verwendet, da es ein sehr guter elektrischer Isolator ist und findet Anwendung z.B. bei Bildröhren in Fernsehern oder Computermonitoren. Es gibt aber ein Experiment, das die zuletzt genannte Eigenschaft - dass Glas den elektrischen Strom nicht leitet - erheblich in Frage zu stellen scheint. Dazu wird ein Glasstab in die Zuleitung eines elektrischen Verbrauchers, z.B. einer Glühlampe, geschaltet und der Stromkreis geschlossen (siehe Abb. 1). Wie zu erwarten, bleibt die Glühlampe dunkel. Erhitzt man allerdings den Glasstab mit einem Bunsenbrenner, bis er kirschrot anfängt zu glühen, beginnt allmählich auch der Glühfaden der Lampe zu leuchten. Nun kann man den Bunsenbrenner wegnehmen, aber dennoch leuchtet die Lampe weiter, es kann sogar passieren, dass sie immer heller leuchtet. Gleichzeitig wird auch das Glühen des Glasstabes immer intensiver und mitunter verdampft er plötzlich nach einem kurzen weißglühenden Aufblitzen. Die Deutung dieses Versuches besteht darin, dass das Glas durch das Erwärmen seine isolierenden Eigenschaften verliert und zu einem recht guten Leiter wird.

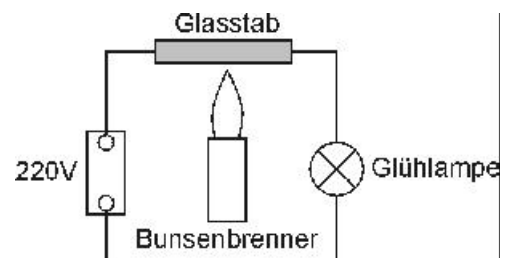


Abb. 1: Erhitztes Glas schließt den Stromkreis

Mit unserer Arbeit wollen wir genauer untersuchen, was bei diesem Versuch mit dem Glas geschieht und welche Bedingungen eintreten müssen, damit es den Strom so gut leitet.

„Unter der elektrischen Leitfähigkeit eines Stoffes versteht man die Fähigkeit, beim Anlegen eines elektrischen Feldes Ladungsträger zu bewegen.“ [1] Ein elektrisches Feld entsteht dadurch, dass man an den beiden Enden des Materials eine Spannung anlegt, z.B. an dem Endpunkt A mit positiver und am Endpunkt B mit negativer Polarität (siehe Abb. 2). Befindet sich zwischen diesen beiden Punkten eine negative Ladung, z.B. ein Elektron, würde dieses vom Pluspol angezogen werden und versuchen, sich zum Punkt A zu bewegen. In einem Leiter ist das leicht möglich, in einem Isolator dagegen nicht. Entsprechend würde sich eine positive Ladung, z.B. ein positiv geladenes Ion, zum Punkt B bewegen. Auch wenn Glas bei Zimmertemperatur sehr fest ist und z.B. nur mit einem Diamanten geritzt werden kann, handelt

2. Leitfähigkeit und andere Eigenschaften von Glas

es sich doch um eine (allerdings erstarrte) Flüssigkeit.

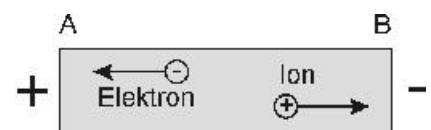


Abb. 2: Elektron und Ion in einem Leiter mit angelegter Spannung

Normales Glas setzt sich zusammen aus den Elementen Silizium, Sauerstoff und Natrium [3], Speziälgläser enthalten aber oft noch andere Substanzen. Sauerstoff und Natrium liegen hier als Ionen vor (vergl. Abb. 3, nach [3]). Nach [1] tritt daher nur Ionenleitung auf, leider

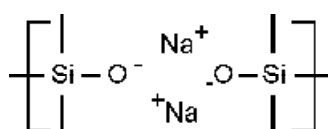


Abb. 3: Prinzipieller Aufbau von Glas

es sich doch um eine (allerdings erstarrte) Flüssigkeit.

Normales Glas setzt sich zusammen aus den Elementen Silizium, Sauerstoff und Natrium [3], Speziälgläser enthalten aber oft noch andere Substanzen. Sauerstoff und Natrium liegen hier als Ionen vor (vergl. Abb. 3, nach [3]). Nach [1] tritt daher nur Ionenleitung auf, leider

konnten wir nicht herausfinden, welche der beiden Ionenarten für den Ladungstransport verantwortlich sind. Mit zunehmender Temperatur erweicht das Glas ab ca. 600 °C immer mehr und erreicht bei ca. 1500 °C seinen Schmelzpunkt. Nicht nur Glasscheiben bestehen aus Glas, sondern z.B. auch bestimmte andere Materialien wie Keramik oder Porzellan können mit einer glasartigen Lasur versehen sein, deswegen erschien es uns sinnvoll, auch solche Proben zu untersuchen.

Bei Zimmertemperatur ist die elektrische Leitfähigkeit sehr gering, der spezifische Widerstand von Glas liegt hier bei ca. $10^9 \dots 10^{20} \Omega/\text{cm}$.

Es gibt noch weitere Eigenschaften von Glas, die wir aber nicht näher untersucht haben. Dazu gehören

- die Dichte z.B. von Sodakalkglas (Fensterglas) von $2,5 \text{ g/cm}^3$
- die Druckfestigkeit von 900 N/mm^2
- die Biegefestigkeit von 30 N/mm^2
- eine Härte von $70\,000 \text{ N/mm}^2$
- ein Wärmeausdehnungskoeffizient von $0,01 \text{ mm} \cdot \text{K}(\text{elvin}) \cdot \text{m}(\text{eter})$
- eine Wärmeleitfähigkeit von $0,81 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
- eine spezifische Wärme von ca. $0,81 \text{ J} / \text{kg} \cdot \text{K}$
- ein optischer Brechungsindex von ca. 1,52

Die Werte haben wir einer Tabelle entnommen, die in [2] zusammengestellt ist.

3. Versuchsaufbau

3.1 Ziel unserer Experimente

Mit unseren Versuchen wollen wir herausfinden, ab welcher Temperatur man bei Glas einen elektrischen Widerstand messen kann, wie er abnimmt und wann der Widerstand einen sehr kleinen Wert angenommen hat. Wir messen also den Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur. Dazu erwärmen wir unsere Versuchsobjekte, die ca 1 cm x 3 cm breit und zwischen 0,1 mm und 8 mm hoch sind.

Wir führen unsere Messungen mit verschiedenen Glassorten und Materialien durch (z.B.: verschiedene Gläser, glasiertes Porzellan), um feststellen zu können, ob sich bei den Messungen Unterschiede ergeben. Außerdem haben wir einen Versuch mit einem der Kohlestäbe gemacht, die von unserer ersten Ofenkonstruktion übrig geblieben waren.

3.2 Erzeugen der Messtemperatur

Für unsere Messungen brauchen wir natürlich eine geeignete Wärmequelle, die unsere Proben auf die gewünschte Temperatur erwärmt.

Zuerst haben wir es mit einem Bunsenbrenner versucht, wobei wir die Probe direkt über die Flamme gehalten haben und die Temperatur der Flamme mit einem Hochtemperaturmessfühler gemessen haben. Damit konnten wir allerdings die Probe nur auf die Temperatur der Bunsenbrennerflamme bringen, niedrigere Temperaturen ließen sich damit nicht einstellen. Da

die Temperaturmessung direkt an der sich erwärmenden Probe dabei aber sehr ungenau war, mussten wir diese Methode verwerfen.

Dann versuchten wir mit Hilfe von Kohlestäben aus verbrauchten Batterien eine eigene „Heizung“ - in der Anordnung vergleichbar mit der eines Toasters - zu erstellen. Diese hätten wir durch die Einstellung eines entsprechenden Stromes auf die gewünschte Temperatur erhitzen können. Leider konnten wir aber die Stäbe nicht so mit elektrischen Anschlüssen versehen, dass sie der erforderlichen Temperatur standgehalten hätten. Außerdem wäre die von den Stäben umschlossene Probe damit nur indirekt geheizt worden, das Problem der Temperaturmessung wäre wie bei unserer ersten Idee das gleiche gewesen.

Also blieb uns nichts anderes übrig, als auf einen Brennofen mit regulierbarer Temperaturanzeige zurück zu greifen. Dieser hat den Vorteil, dass die Temperatur des Innenraumes sich auf die Probe überträgt und sich diese leicht durch einen entsprechenden Messfühler, der in dem Ofen eingebaut ist, messen lässt. Der Brennraum ist groß genug, dass wir die Probe samt Halter und Kontaktierung hineinstellen können. Das einzige Problem war das Herausführen der Messanschlüsse durch die Ofentür, dies haben wir dadurch gelöst, dass wir dünne Kupferbahnen als Leiter genommen haben, die durch den schmalen Spalt zwischen Tür und Brennraum durchpassen. Die Messleitungen für das Widerstandsmessgerät wurden daran angeschraubt und mit Bananensteckern versehen. Bei unseren Messungen müssen wir allerdings beachten, dass beim Aufheizen die Versuchsobjekte immer ein paar Grad kühler sind als die angezeigte Temperatur des Brennofens. Man kann aber davon ausgehen, dass die Temperatur der Objekte nur einige wenige Grad Celsius unter der des Brennraumes liegen, weil der Ofen sich relativ langsam aufheizt und die Objekte damit genügend Zeit haben, sich auf die Temperatur des Brennraums einzustellen.

3.3 Objektträger

Unsere Versuchsobjekte müssen wir mit einem geeigneten Widerstandsmessgerät verbinden, wobei die Zuleitungen vor und im Inneren des Brennofens bis ca 1000 °C hitzebeständig sein müssen. Das gleiche gilt auch für die Halterung unseres Probenkörpers. Dazu haben wir eine Konstruktion gebaut, die in Abb.4 skizziert ist.

Als Grundbaustein haben wir eine alte Hausanschlussicherung verwendet, die aus einem quaderförmigen hohlen Keramik-Isolator besteht, an den zwei Montageplatten angeschraubt sind. Den Sicherungsdraht und die Sandfüllung im Inneren des Körpers haben wir zuvor entfernt. Die Montageflächen sind durch den Isolator gut gegeneinan-

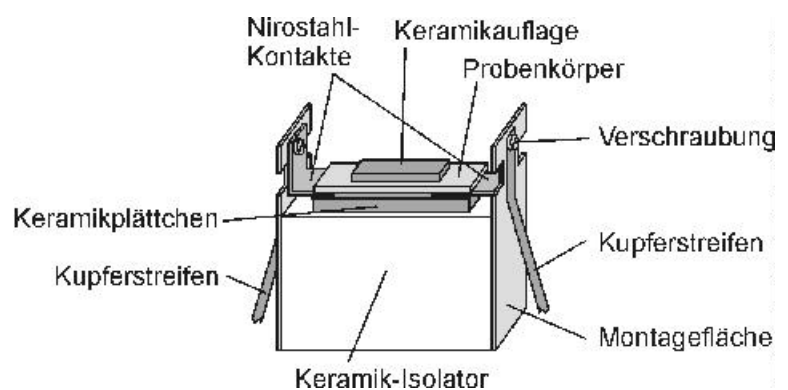


Abb. 4: Konstruktion unseres Probenträgers

der isoliert, die metallischen Montageflächen stellen dabei ideale Zuleitungen dar. Auf den Isolator legen wir ein Keramikplättchen, da wir einen ebenen Untergrund für die Objekte benötigen. Gleichzeitig trennt es die Probe von dem glasierten Isolator für den Fall, dass er bei der hohen Wärmezufuhr auf der Oberfläche leitend wird (seine Strimflächen sind nicht glasiert). An den Montageflächen haben wir durch Verschraubungen Nirostahlbleche (Niro: nicht rostender Stahl) als Kontakte und die oben erwähnten Kupferstreifen befestigt, da sie hitzebeständig und gut leitend sind. (Erste Versuche mit Gardinenklammern aus einfachem Eisen, mit denen wir die Proben eingeklemmt haben, hatten nämlich gezeigt, dass die Eisenklammern bei den hohen Temperaturen sehr schnell verrosteten und nach dem Abkühlen bei der ersten Berührung auseinanderfielen.) Die Nirostahlkontakte liegen fest auf dem darunterliegenden Keramikplättchen auf und sind durch eine Verschraubung mit den Kupferstreifen kontaktiert. Diese führen aus dem Ofen hinaus zu dem Widerstandsmessgerät. Auf den Nirostahlkontakten liegt unser Probenkörper, darauf eine zweite Keramikauflage. Ein schwerer Gegenstand, z.B. eine Metallschraube (nicht in der Skizze dargestellt) sorgt dafür, dass die Probe fest auf den Kontakten aufliegt, die Keramikauflage verhindert dabei, dass die Metallschraube unsere Messungen verfälscht. Die ganze Konstruktion steht auf einer großen Keramikträgerplatte im Ofen.

4. Durchgeführte Versuche

4.1 Untersuchte Materialien

Zum Zeitpunkt zur Erstellung der Arbeit haben wir Messungen an folgenden Probekörpern vorgenommen:

Bilderglas 1:	2 mm dickes auf der einen Seite geätztes Glas für Bilderrahmen
Objekträger:	1 mm dickes Objekträgerglas aus der Mikroskopie
Bilderglas 2:	3 mm dickes Standardglas für Bilderrahmen
Porzellan :	6 mm dicke Keramikscherbe mit Farbglasur
Objektdeckglas:	0,1 mm dickes Deckglas aus der Mikroskopie
Kohlestab:	8 mm dicker Kohlestab aus einer alten Batterie

4.2 Vorbereitung der Probe

Der Probekörper wird ggf. auf eine Größe von ca. 1 cm x 3 cm zurechtgeschnitten, damit er in unseren Probenträger passt. Falls die Kontaktflächen verschmutzt sind, werden diese mit Sandpapier gereinigt. Dann wird der Probenhalter in den Brennraum gestellt und der Probekörper auf die Nirostahlkontaktflächen gelegt. Auf den Probekörper wird eine Keramikplatte zur Isolation gelegt, auf die eine dicke Metallschraube gestellt wird, um einen sicheren Kontakt zwischen Probekörper und Nirostahl sicherzustellen. Die Kupferstreifen werden parallel zum Türschlitz unter der Tür herausgeführt und an das Widerstandsmessgerät angeschlossen. Zuletzt wird die Brennraumtür geschlossen.

4.3 Durchführung der Messung

Die Heizung des Ofens wird eingeschaltet. Auf dem im Ofen eingebauten Thermometer wird die Temperatur abgelesen, dazu notieren wir den Widerstand, der auf dem Widerstandsmessgerät angezeigt wird. Die Messungen werden in Schritten von 20 °C vorgenommen. Die Werte werden in einer Excel-Tabelle zusammengefasst. Die Messung wird beendet, wenn das Widerstandsmessgerät keinen sinnvollen Wert mehr anzeigt.

Die Zeit, die der Ofen ausgehend von Zimmertemperatur bis zum Erreichen der gewünschten Endtemperatur benötigt, kann man der Abbildung 5 entnehmen. Die meisten Proben wurden bis ca. 800 °C erhitzt, was demnach ca. 50 Minuten dauert. Bei leicht geöffneter Tür des Brennraumes (wegen der von der Wärmestrahlung ausgehenden Brandgefahr darf man sie nicht ganz öffnen) dauert das Abkühlen fast genau so lange. Bevor die

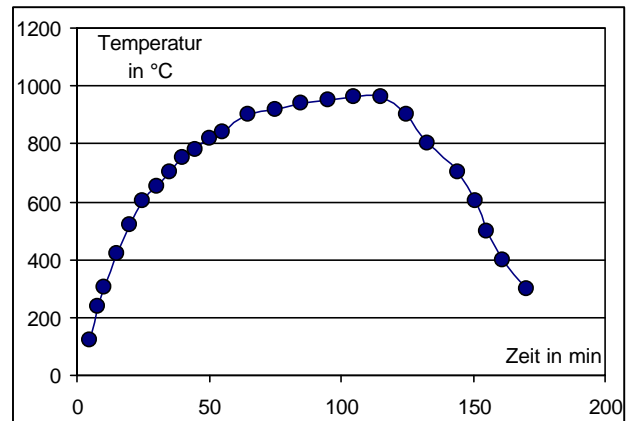


Abb. 5: Zeitverhalten des Brennofens

nächste Probe eingelegt werden kann, muss der Ofen vollständig abgekühlt sein. Bei einigen Proben haben wir während des Abkühlens statt des Widerstandes den Strom durch oder die Spannung an der Probe gemessen (mehr dazu in Kap. 5). Anschließend müssen manchmal die Kontakte von geschmolzenen Probenresten gereinigt werden.

5. Messungen

5.1 Beobachtungen und evt. Besonderheiten

Wir haben unsere Messergebnisse in Tabellen festgehalten und diese graphisch dargestellt. Dabei stellen wir fest, dass der Widerstand je nach Probe erst bei ca. 440 °C bis 560 °C einen messbaren Wert annimmt (der größte Widerstand, den unser Messgerät noch messen kann, beträgt 20 MΩ). Bei allen Glassorten nimmt der Widerstand mit ansteigender Temperatur zunächst schnell, dann zunehmend langsamer ab. Je nach Probe hat er zwischen 600 °C und 720 °C etwa den Wert 0 angenommen.

Heizt man den Ofen noch weiter, passiert etwas sehr merkwürdiges: das Widerstandsmessgerät zeigt einen negativen Wert an! Da es aber nicht möglich ist, dass ein Widerstand negativ ist, muss hier etwas Unvorhergesehenes geschehen sein. Durch Umschalten auf eine andere Messart konnten wir mit dem Messgerät feststellen, dass die Probe einen kleinen Strom bzw. eine Spannung erzeugte, die beim Abkühlen der Probe immer kleiner wurden. Beim genauen Betrachten der Proben nach ihrer Entnahme aus dem Probenhalter konnten wir bei einigen Proben erkennen, dass die Glasflächen an der Stelle, wo sie die Nirostahlflächen berührt hatten, mit einem metallisch schimmerndem Überzug versehen zu sein schienen, der sich aber nicht abwischen ließ. Es sieht so aus, als wären geringe Mengen des Metalls in das Glas hinübergewandert und hätten sich dort eingelagert.

5.2 Zusammenfassung der Messergebnisse mit Glas

Unsere Messtabellen haben alle den gleichen Aufbau. Als Beispiel für eine solche Tabelle geben wir unsere Messung für das Bilderglas 2 an (siehe Abb. 6). In der linken Spalte haben wir die Zeit in Minuten aufgeschrieben, zu der der Brennofen die in der zweiten Spalte eingetragene Temperatur in °C erreicht hat. Mit diesen Angaben konnten wir z.B. den Graphen nach Abbildung 5 erstellen, der das Zeitverhalten des Brennofens wiedergibt. In der dritten Spalte steht der vom Widerstandsmessgerät angezeigte Widerstand in MΩ. Beim Abkühlen haben wir statt des Widerstandes in der dritten Spalte den Strom in mA bzw. die Spannung in mV notiert.

Für jede Probe haben wir eine eigene Messtabelle angelegt. In der ersten Zeile haben wir das Material eingetragen, außerdem enthalten die Tabellennamen das Datum und einen Kennbuchstaben, damit wir sie später eindeutig zuordnen können, also z.B. für die 2. Messung am 28.12.01: „msg01-12-28b.xls“.

Eine Zusammenfassung aller Messungen mit den untersuchten Glassorten ist in Abb. 7 wiedergegeben.

Material: Bilderrahmenglas		
Zeit	Temperatur	Widerstand
0,5	140	
1,22	160	
2,52	220	
4,27	280	
8,55	400	
13,59	500	
16,21	540	18,576
17,16	560	13,323
18,26	580	7,865
19,34	600	5,192
21,07	620	2,770
22,43	640	1,454
24,15	660	0,976
25,21	670	0,760
26,11	680	0,730
27,35	690	0,456
27,57	700	0,433
29,09	710	0,378
30,15	720	0,659

Abb. 6: Beispiel einer Messtabelle

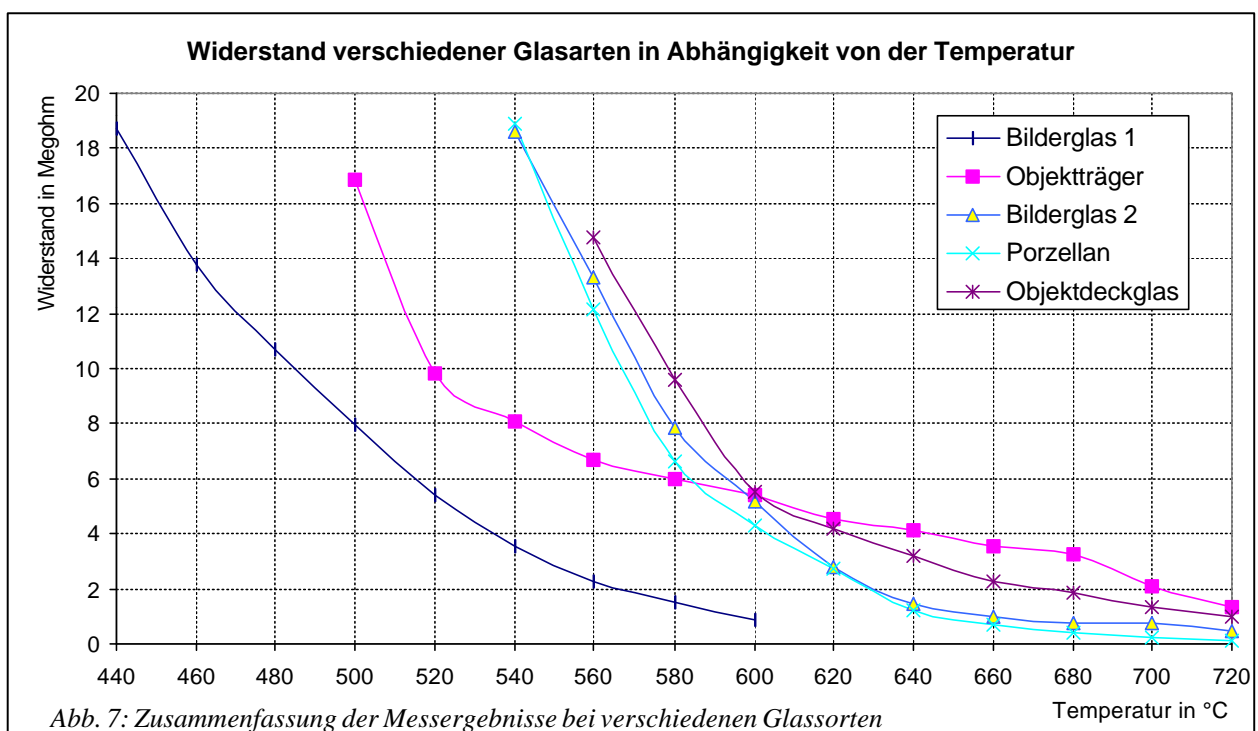


Abb. 7: Zusammenfassung der Messergebnisse bei verschiedenen Glassorten

5.3 Messung an einem Kohlestab

Von unseren ersten Versuchen, eine Heizung selber zu bauen, hatten wir auch noch einen Kohlestab zur Verfügung. Diesen haben wir in der Länge halbiert, damit er in unseren Probenhalter passt und ebenfalls ausgemessen. Die sich ergebenden Messwerte weichen sehr stark von Glas ab, was verständlich ist, da es sich um ein völlig anderes Material handelt. Der Stab hat bereits bei Zimmertemperatur einen Widerstand von nur $12\ \Omega$. Damit ist er wohl den Leitern zuzuordnen, obwohl Kohle eher ein schlechter Leiter im Vergleich zu Metall ist. Während bei Metallen der Widerstand mit zunehmender Temperatur steigt, kann man dem Graphen entnehmen, dass es bei Kohle genau umgekehrt ist, damit verhält sich die Kohle wie das Glas.

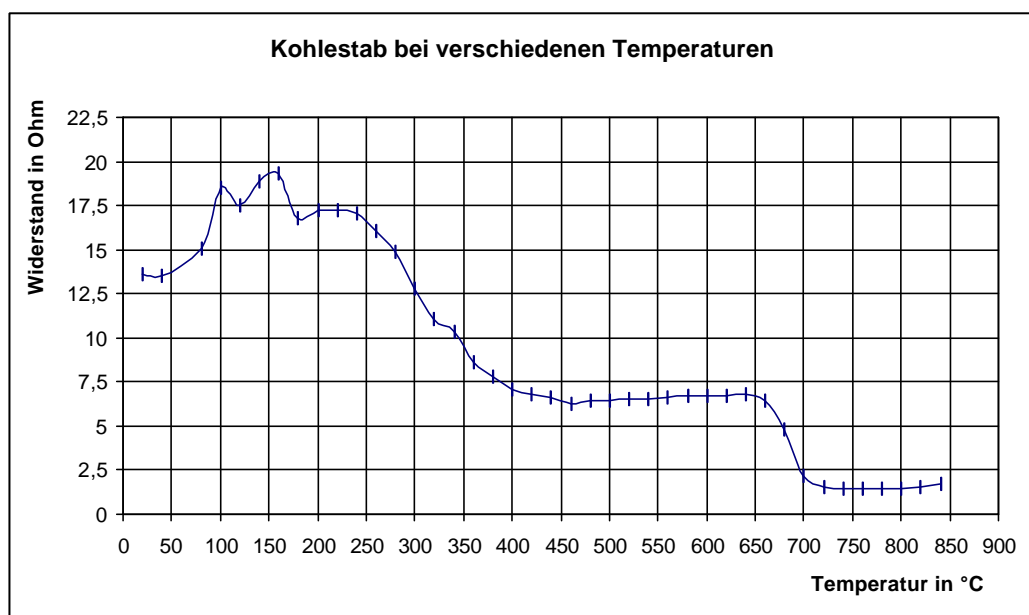


Abb. 8: Widerstand eines Kohlestabes bei zunehmender Temperatur

Die „Zacken“ am Anfang des Graphen sind wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass der Kontakt zwischen Kohlestab und Nirostahlfläche noch etwas unsicher war. Durch die Wärmeausdehnung der aufgelegten Schraube, die ihn anpressen sollte, wurde er etwas bewegt und hat sich erst bei etwa $200\ \text{°C}$ stabilisiert. Bis ca. $450\ \text{°C}$ nimmt der Widerstand ab, danach bleibt er bis ca. $650\ \text{°C}$ konstant. Auffällig ist der Knick nach unten bei ca. $650\ \text{°C}$ und das leichte Ansteigen des Widerstandes kurz vor Ende der Messung.

6. Deutung der Messergebnisse

6.1 Auswertung der Messungen an den Gläsern

Die Kurven für Bilderglas 2, Porzellan und das Objektdeckglas fallen fast zusammen, hier scheint es sich um vergleichbare Glassorten zu handeln. Das geätzte Bilderglas 1 und der Objektträger zeigen dagegen ein deutlich abweichendes Verhalten, da sie erheblich früher anfangen zu leiten. Je stärker das Glas erwärmt wird, desto weicher wird es, z.B. konnten wir beobachten, dass es

bei ca. 800 °C anfängt sich unter dem Gewicht der aufgelegten Schraube zu verformen und bei 950 °C so flüssig wird, dass es an unserem Isolierträger herunterläuft. Sein Schmelzpunkt liegt mit ca. 1500 °C aber deutlich höher als die von uns erreichten Temperaturen. Je weicher das Glas wird, desto leichter können sich die Ionen im Glas bewegen. Da durch das Widerstandsmessgerät eine Spannung angelegt ist, wandern diese Ionen nun von einem Anschluss der Probe zum anderen: es fließt ein Strom. Je höher die Temperatur ist, desto größer ist die Anzahl der Ionen, die sich pro Zeiteinheit durch den Leiter bewegen: der Strom nimmt zu und damit der Widerstand ab. In [1] ist folgende Gleichung angegeben:

$$\lg(\rho_D) = A + \frac{B}{T} \quad (1)$$

Formt man diese Gleichung so um, dass nur ρ_D und nicht der Logarithmus auf der linken Seite steht, erhält man

$$\rho_D = 10^{A + \frac{B}{T}} = 10^A \cdot 10^{\frac{B}{T}} \quad (2)$$

Ihr kann man entnehmen, dass der spezifische Widerstand ρ_D exponentiell mit der Temperatur abnimmt: der erste Faktor 10^A ist ein Streckungsfaktor, der zweite Faktor enthält die Temperatur im Nenner des Exponenten, das heißt, dieser Faktor wird exponentiell kleiner, je größer die Temperatur T

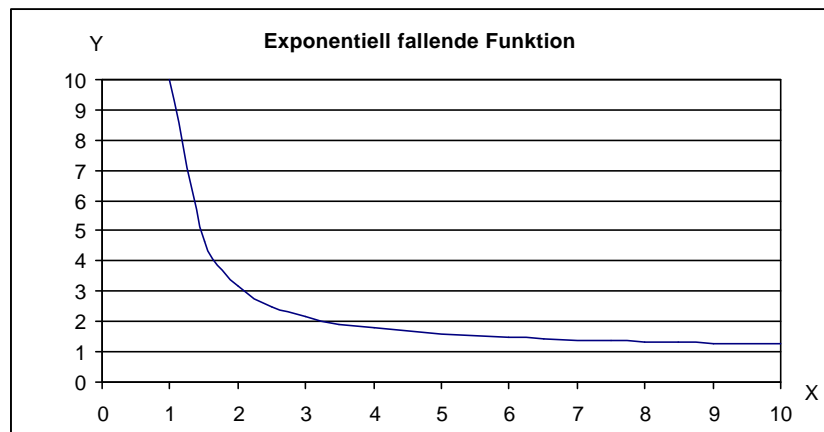


Abb. 9: Beispiel einer exponentiell fallenden Funktion

wird. A und B sind Konstanten. Zum Vergleich haben wir in Abb. 9 die Funktion nach Glg. (2) mit $A = 0$ und $B = 1$ graphisch dargestellt. Ihr prinzipieller Verlauf stimmt mit unseren Beobachtungen am Glas überein.

6.2 Unerwartetes Verhalten bei hohen Temperaturen

Ab ca. 720 °C ergeben alle unsere Glasproben plötzlich eine negative Anzeige für den Widerstand. Nach dem Prinzip der Widerstandsmessung kann das eigentlich nicht passieren, es sei denn, die Probe erzeugt ihrerseits eine Spannung, die zu einem Strom „in der falschen Richtung“ führt. Deshalb haben wir beim Abkühlen einige Messungen zu Spannung und Strom vorgenommen.

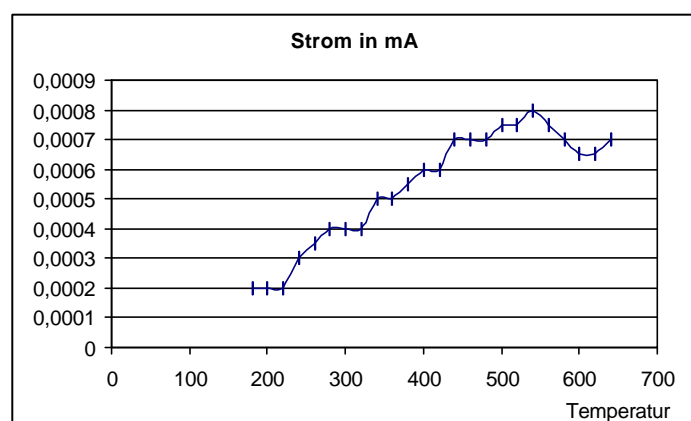


Abb. 10: Stromverlauf beim Abkühlen einer Glasprobe

Der gemessene Strom nimmt mit abnehmender Temperatur ebenfalls ab, der Verlauf des Graphen (siehe Abb. 10) ist angenähert linear.

Für dieses Phänomen kommen verschiedene Möglichkeiten in Frage:

- dadurch, dass sich - wie wir gesehen haben - in das Glas Metallspuren eingelagert haben, könnte so eine Art von Halbleiter-Übergang entstanden sein, wobei das Metall einen n-Leiter und das Glas ein p-Leiter darstellt. Ähnlich wie bei einer Solarzelle könnte durch die Wärme als Energiequelle dabei eine Spannung entstehen und ein Strom fließen.
- die Metallflächen links und rechts und die Probe dazwischen könnten ein Thermoelement bilden. Bei diesem entsteht eine Spannung, wenn die beiden Kontaktflächen nicht die gleiche Temperatur haben.
- durch den vorherigen Stromfluss bei der Widerstandsmessung sind eventuell Elektronen aus dem Metall in das Glas eingedrungen, die sich mit den Ionen rekombiniert haben. Beim Abkühlen werden die Ionen wieder in das Glasgefüge „eingebaut“ und die Elektronen werden wieder frei und sorgen für den von uns beobachteten Strom.

Was für dieses merkwürdige Phänomen verantwortlich ist, können wir leider nicht entscheiden, deshalb müssen wir die Antwort auf diese Frage offen lassen.

6.3 Das Verhalten des Kohlestabes

Kohle steht in der 4. Hauptgruppe und besitzt damit 4 Elektronen in der Außenschale. In der gleichen Gruppe stehen auch die Elemente Germanium und Silizium, die als Halbleiter bekannt sind. Die Abnahme des Widerstandes zwischen 200 °C und 450 °C würde man auch bei diesen beiden Elementen beobachten können, also verhält sich hier die Kohle wie ein leicht verunreinigter Halbleiter. Bis ca. 650 °C bleibt der Widerstand konstant, was sich damit erklären lässt, dass nun alle durch Störstellen verfügbaren Elektronen an der Stromleitung beteiligt sind (Sättigung). Bei 650 °C sinkt der Widerstand stark ab, hier wurde die Entzündungstemperatur von Kohlenstoff erreicht und die Kohle hat chemisch mit dem Sauerstoff der Luft reagiert (Verbrennung). Dadurch hat sich zum einen die Temperatur weit über die des Brennofens erhöht, zum anderen hat durch die Oxidation die Anzahl der Störstellen weiter zugenommen. Beides sorgt jeweils für einen größeren Stromfluss. Das Ansteigen der Kurve ab ca. 800 °C ist darauf zurückzuführen, dass die leitfähige Schicht von außen nach innen abbrennt und immer kleiner wird, dadurch wird der Querschnitt des Leiters kleiner und sein Widerstand nimmt wieder zu. Nach dem Öffnen des Ofens konnte man sehen, dass der innere Kern des Stabes noch hellrot glühte, während der äußere Teil zu grauweißer Asche zerfallen war.

7. Zusammenfassung

Mit unseren Experimenten konnten wir zeigen, dass Glas kein Isolator ist, sondern bei höheren Temperaturen leitfähig wird. Dabei hängt es von der Glassorte ab, bei welcher Temperatur die Leitfähigkeit einen messbaren Wert erreicht, wobei Unterschiede von bis zu 120 °C zu beobachten sind. Die von der Theorie vorausgesagte exponentielle Abnahme des Widerstandes mit der Temperatur konnten wir mit unseren Messungen bestätigen. Ab einer bestimmten Temperatur

liefern uns die Messungen mit Glas Ergebnisse („negativer“ Widerstand), deren Ursachen wir nicht genauer ergründen können.

Das Experiment mit dem Kohlestab hat gezeigt, dass dieser sich wie ein dotierter Halbleiter verhält. Nach dem Kurvenverlauf könnte man annehmen, dass sich auch Glas zu den Halbleitern zu zählen wäre, dies ist aber nicht der Fall, weil im Halbleiter bewegliche Elektronen den Stromfluss verursachen, beim Glas aber ein Ionentransport stattfindet.

Eine Sättigung wie z.B. bei der Kohle kann bei Glas nicht eintreten, weil bei zunehmender Temperatur immer mehr frei bewegliche Ionen zur Verfügung stehen. Damit erklärt sich auch, warum bei dem von uns beschriebenen Versuch mit einer Glühlampe das Glas plötzlich verdampft: der Stromfluss wird mit steigender Temperatur immer größer, damit wird auch das Glas stärker erwärmt und führt zu einer weiteren Erhöhung des Stromes usw. und nach kurzer Zeit ist die Siedetemperatur erreicht und das Glas verdampft.

8. Verwendete Quellen

- [1] TU Ilmenau, Institut für Werkstofftechnik, Auszug aus einer Internet-Veröffentlichung
- [2] <http://www.fn-glas.at/Glasdaten.htm>
- [3] <http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/haus/v019.htm>.

Danksagung

Unser Dank gilt unserem Betreuer Thomas Biedermann, der uns sehr hilfreiche Ratschläge gegeben hat.

Außerdem danken wir dem niedersächsischen Förderfond unter der Leitung von Dr. Hase, der uns die Gelder für den benötigten Brennofen zur Verfügung gestellt hat.

Auch Frau Biedermann danken wir für die gute Verpflegung an Kuchen und Getränken.