

Nick, Sabine; Ruppersberg, Klaus

Schwefel und Kohlenstoff. Stoffeigenschaften über Strukturen deuten

formal und inhaltlich überarbeitete Version der Originalveröffentlichung in:

formally and content revised edition of the original source in:

Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie 27 (2016) 153, S. 18-21



Bitte verwenden Sie in der Quellenangabe folgende URN oder DOI /

Please use the following URN or DOI for reference:

urn:nbn:de:0111-pedocs-146289

10.25656/01:14628

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-146289>

<https://doi.org/10.25656/01:14628>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen als Lernhelfer im Chemieunterricht: Bei diesen Strukturen macht es klick!

Wie kann man Lernenden den Zusammenhang zwischen strukturellem Aufbau und makroskopischen Eigenschaften von Stoffen mit Schlüsselerlebnissen verständlich machen?

Sabine Nick*, Klaus Roppersberg*

* Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik an der Universität Kiel, Abt. Chemiedidaktik

„Welche Seiten im Buch sollen wir auswendig lernen?“ So fragen Schüler und Studenten vor Testsituationen, oft gekoppelt mit einem flehentlichen Blick und purer Verzweiflung, die zeigt: Es hat noch nicht „Klick!“ gemacht; anstelle von Verstehen und Anwenden wird das Heil in Auswendiglernen mit anschließendem Vergessen gesucht – völlig unnötig! Zahlreiche Beispiele können den Zusammenhang zwischen den physikalischen Eigenschaften eines Feststoffes und seinem strukturellen Aufbau belegen, es kommt nur drauf an, dass die Lernenden es auch verstehen (wollen). Gegen Denkblockaden wie „Chemie haben auch meine Eltern noch nie verstanden!“ kommt auch der beste Unterricht nicht an, aber der Versuch lohnt sich (siehe hierzu Arbeitsblätter 1 und 2).

Schwefel – ein spannendes Wechselspiel zwischen Schmelzen und Abschrecken

Ein sehr anschauliches Beispiel für Struktur-Eigenschafts-Beziehungen ist der Schwefel: Elementarer Schwefel ist gelb. Dies ist auf die Wechselwirkung der in den Molekülen enthaltenen Elektronen mit elektromagnetischer Strahlung ("Licht") zurückzuführen. Wird der gelbe Schwefel erhitzt, erfolgt eine Verschiebung der Absorptionsgrenze und er färbt sich zunächst dunkelgelb und dann rot (Abb. 1 und 2, [1]).

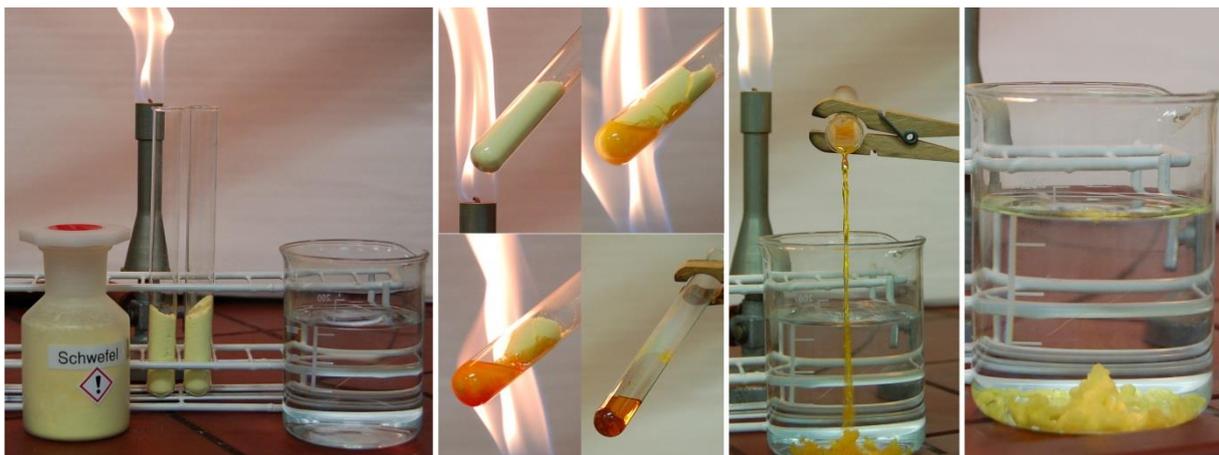


Abb. 1: Erhitzen von Schwefel mit vorzeitigem Abschrecken: Nach der thermischen Behandlung wird wieder α -Schwefel erhalten. (Fotos: Sabine Nick).

Oftmals sind Farbänderungen mit einer chemischen Reaktion verbunden, bei der aus Edukten eine neue Verbindung entsteht. Dies kann im obigen Beispiel aber nicht der Fall sein, da hier ausschließlich Schwefelatome beteiligt sind. Es muss sich also etwas in der Struktur geändert haben,

und diese geänderte Struktur hat wiederum Einfluss auf die physikalischen Eigenschaften – hier Farbe. Was steckt im Detail dahinter?

Ursache ist die sogenannte Allotropie (*griech. allos* = ein anderes, *griech. trope* = Umwandlung, also die Umwandlung in etwas anderes). Schwefel bildet eine Vielzahl von verschiedenen Molekülgrößen aus (Tab. 1). Sie führen zu unterschiedlichen Farben, aber auch zu unterschiedlichen Wechselwirkungen untereinander und damit verschiedenen mechanischen Eigenschaften. Alle Formen sind stufenweise ineinander rückführbar (Abb. 2).

Tab. 1: Bezeichnung und Molekülgrößen der Schwefelformen im Festkörper und in der Schmelze

Bezeichnung	Molekülgröße	Zustand
α -Schwefel	S ₈ -Ringe	Festkörper
β -Schwefel	S ₈ -Ringe	Festkörper
λ -Schwefel	S ₈ -Ringe (überwiegend)	Schmelze, unterkühlte Schmelze
π -Schwefel	S _n -Ringe (n = 5 – 30)	Schmelze, unterkühlte Schmelze
μ -Schwefel	S _n -Ketten und –Ringe n = 10 ³ – 10 ⁶	Schmelze, unterkühlte Schmelze

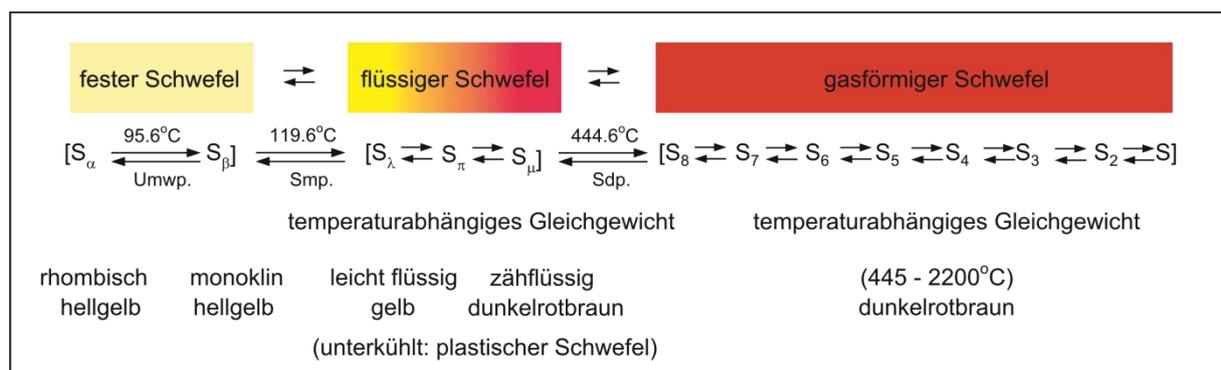


Abb. 2: Schematische Darstellung der Umwandlungsbereiche von Schwefel nach [2].

Wird Schwefelblüte langsam erhitzt, so wandelt sich das unter Standardbedingungen thermodynamisch allein beständige rhombische Allotrop, der α -Schwefel, bei 95,6 °C unter Volumenvergrößerung in monoklinen β -Schwefel um. Beide Formen bestehen aus kronenförmigen S₈-Molekülen, die im Festkörper eine andere Anordnung besitzen (Abb. 1, vgl. Abb. 3, [2]).

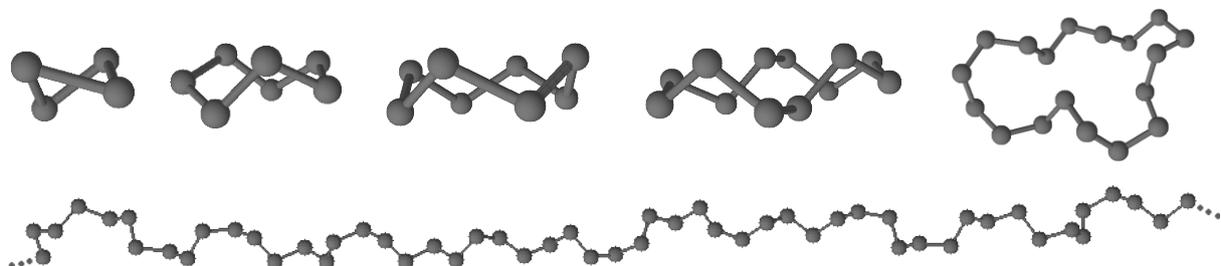


Abb. 3: Strukturen ausgewählter Schwefelspezies: kleine Ringe (oben links), größere Ringe (oben rechts) sowie Ausschnitt einer hochatomaren Kette (unten).

Ab einer Temperatur von 119,6 °C verlassen die S_8 -Moleküle ihre Plätze in der Festkörperstruktur und bilden eine sehr fluide hellgelbe durchsichtige Flüssigkeit, den λ -Schwefel. Wird diese Flüssigkeit in Wasser gegeben, so bildet sich, da noch überwiegend S_8 -Ringe vorliegen, wieder monokliner β -Schwefel, der sich bei weiterem Abkühlen unter den Umwandlungspunkt letztendlich wieder in rhombischen α -Schwefel umwandelt (Abb. 1).

Wird jedoch weiter erhitzt, so bilden sich niedermolekulare Ringe mit 5 - 26 Schwefelatomen, sogenannter π -Schwefel (vgl. Abb. 2 und 3). Dies macht sich beim Erhitzen und Schütteln eines Reagenzglases (siehe Abb. 4) durch eine Farbvertiefung und eine zunehmend verminderte Viskosität bemerkbar. Die dunkelbraun-rote Färbung ist hier u. a. auf die Anwesenheit von S_5 -Ringen zurückzuführen [2]. Bei 159 °C steigt die Viskosität ganz erheblich an und erreicht bei 187 °C ein Maximum. Diese Form des Schwefels wird hochmolekulare Form oder auch μ -Schwefel genannt und besteht aus teilweise zu Ringen geschlossenen Ketten mit tausend bis zu einer Million Schwefelatomen. Bei 400 °C wird die Schmelze wieder dünnflüssig und kann, bevor sie bei 444,6 °C unter Verdampfung von Molekülen mit 2 – 9 Schwefelatomen zu sieden beginnt, unter Bildung von sogenanntem „plastischen Schwefel“ in Wasser abgeschreckt werden (Abb. 4).

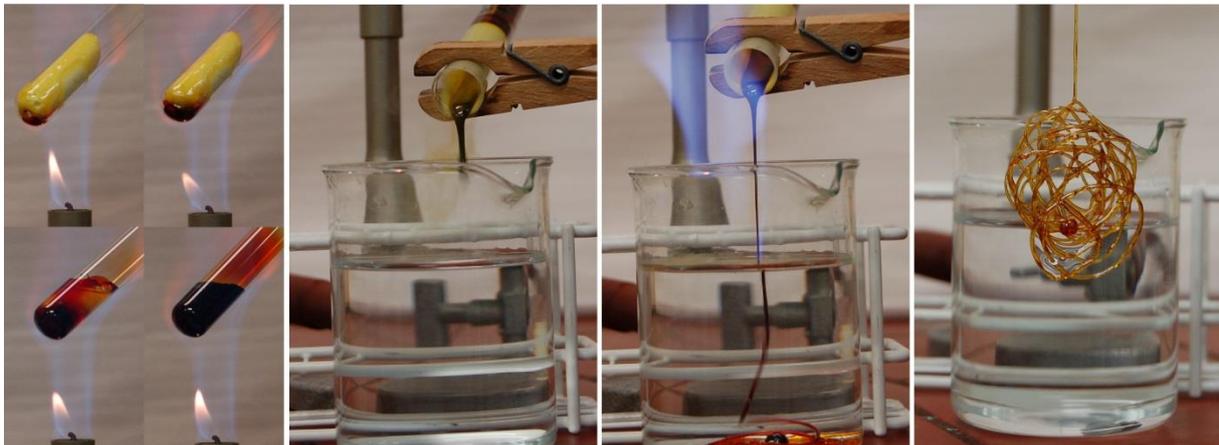


Abb. 4: Erhitzen von Schwefel und Abschrecken zur Gewinnung von plastischem Schwefel (Fotos: Sabine Nick).

Plastischer Schwefel ist eine dunkelbraune, fast schwarze unterkühlte Schmelze von hochmolekularem μ -Schwefel und λ -Schwefel, die nach ein bis zwei Tagen ihre Plastizität verliert und sich wieder in rhombischen α -Schwefel zurückverwandelt, der dann unter Beachtung des Abfallvermeidungsprinzips mit dem Mörser wieder zu Schwefelblüte verarbeitet werden kann. Dies kann mit dem folgenden Arbeitsblatt 1 zu großen Teilen phänomenologisch nachvollzogen werden.

Diamant und Graphit ziehen unterschiedliche Linien

Ein weiterer bekannter Vertreter für Allotropie und damit den direkt erkennbaren Zusammenhang zwischen Struktur und Eigenschaft ist das in mehreren festen Erscheinungsformen vorkommende Element Kohlenstoff. Die beiden Modifikationen Diamant und Graphit weisen durch die unterschiedliche Verknüpfung und Anordnung der Atome im Festkörper völlig verschiedenartige mechanische Eigenschaften auf: So ist Diamant das härteste Material, das wir kennen, Graphit dagegen ist eher weich. Ersteres lässt sich durch eine dreidimensionale Verknüpfung der Atome zu

einer Raumstruktur erklären, letzteres beruht darauf, dass diese zu Schichten verbunden sind, zwischen denen nur schwache Anziehungskräfte auftreten (Abb. 5).

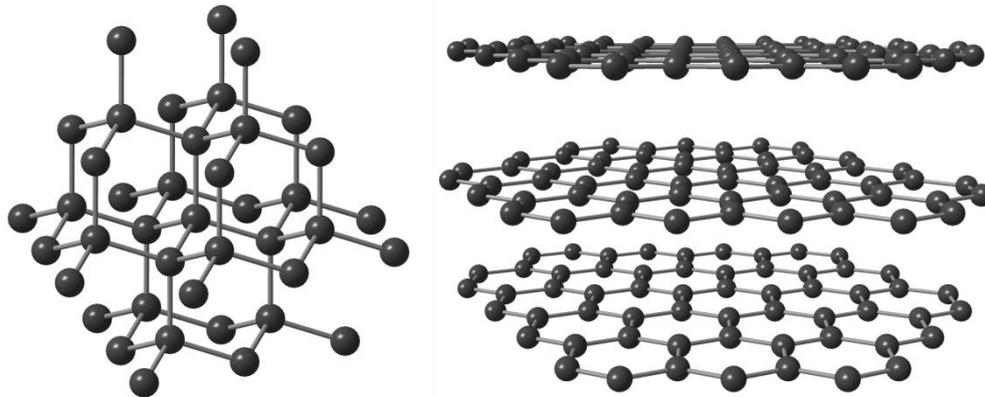


Abb. 5: Ausschnitte aus den Kristallstrukturen von Diamant (links) und Graphit (rechts)

Diamant wird aufgrund seiner besonderen Härte als Schleifmittel eingesetzt, Graphit dient als Schmiermittel - beispielsweise für Türschlösser - und stellt das färbende Material in Bleistiften (eigentlich: „Graphitstiften“) dar. Da Graphit sehr leicht in winzigste Graphit-Stückchen splittert, wird der Mine von Bleistiften Ton beigemischt. Ganz harte Bleistiftminen, diese werden mit H gekennzeichnet (H steht für »hard«), besitzen einen hohen Tongehalt, wohingegen weiche Minen, gekennzeichnet mit B (B steht für »black«), weniger Ton beinhalten. 7H-Bleistifte haben einen Tongehalt von bis zu 75 %, 7B-Bleistifte enthalten maximal 25 % Ton. Der Zusammenhang zwischen diesen Strukturmotiven und den entsprechenden mechanischen Eigenschaften lässt sich auch bei vielen anderen Stoffen finden. Besonders harte Materialien wie Korund (Al_2O_3), Bornitrid (BN), Siliciumcarbid (SiC), aber auch Quarz (SiO_2) besitzen eine dreidimensionale Raumstruktur. Schichtförmig aufgebaute Materialien sind schuppig, spaltbar und spröde. Beispiele hierfür sind die daher auch als Sprödmetalle bezeichneten Metalle der 15. Gruppe: Arsen, Antimon, Bismut, die sich im Mörser zerstoßen lassen oder auch das in Kriechöl eingesetzte Schmiermittel Molybdändisulfid (MoS_2 , z. B. in Caramba) bildet im Festkörper Schichten.

Aber nicht nur die mechanischen Eigenschaften von Diamant und Graphit sind sehr verschieden, auch in ihrer elektrischen Leitfähigkeit finden sich große Unterschiede: So ist Diamant ein wirklich guter Isolator, wohingegen Graphit entlang der Schichten Strom leitet und häufig als kostengünstiges Elektrodenmaterial in technischen Prozessen eingesetzt wird. Dieses unterschiedliche Verhalten lässt sich jedoch nicht mit der unterschiedlichen Kristallstruktur erklären, sondern erfordert die Molekülorbitaltheorie, hier im Speziellen das damit verbundene Konzept der verschiedenen Hybridisierungstypen.

Der Zusammenhang zwischen der Struktur und den Eigenschaften lässt sich sehr gut mit den auf dem Arbeitsblatt 2 vorgestellten Experimenten nachvollziehen. Die Leitfähigkeit von Graphit lässt sich phänomenologisch sehr gut mit Hilfe des "Leiterexperimentes" erfassen (Arbeitsblatt 2, [3]).

Literatur

- [1] H. J. Kandiner, M. Atterer, L. Gmelin (1974). Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie. Schwefel Teil A, Lieferung 3, System 9. 8. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- [2] A. F. Holleman, E. Wiberg (1995). Lehrbuch der Anorganischen Chemie. 101. Auflage, Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- [3] C. Otzen, L. Lehmann, H. Bauer (1990). Das Chemophon. Leitfähigkeitsmessungen einmal anders. PdN-Chemie 39(7), 13-23.

Arbeitsblatt 1:

Ein Schlüsselexperiment mit Schwefelblüte – ist der Unterschied zwischen kronenförmigem S₈-Molekül und elastischem Kettenmolekül im Schülerexperiment erfahrbar?



Geräte und Chemikalien: Schwefelblüte H 315, Spatel oder Löffel, 250-mL-Becherglas mit 200 mL Wasser, Gasbrenner, Abzug oder geöffnetes Fenster, 2 Reagenzgläser, Reagenzglasklemme, Fliesentisch, (Smartphone-) Kamera, Pinzette, feuchtes Papiertuch (zum Löschen, falls sich Schwefeldämpfe versehentlich entzünden sollten).

Durchführung

1. Fülle ein Reagenzglas etwa 3 cm hoch mit Schwefelblüte und erhitze es vorsichtig fächernd in der leuchtenden Flamme. (Achte darauf, dass sich entweichende Gase nicht entzünden! Falls doch, entfernst du das Reagenzglas vom Brenner und erstickst die Flamme mit einem feuchten Papiertuch.)
2. Nach kurzer Zeit schrumpft das Volumen des Pulvers zusammen und es entsteht eine durchsichtige hellgelbe Flüssigkeit. Entleere das Reagenzglas nun zügig in ein mit Wasser gefülltes Becherglas („Abschrecken“) und lege dieses zum Abkühlen auf eine feuerfeste Unterlage!
3. Beobachte den Schwefel im Wasser, hole die entstandenen Figuren mit der Pinzette heraus und fotografiere diese.
4. Fülle das zweite Reagenzglas mit der gleichen Menge an Schwefelblüte und erhitze diesmal mit der rauschenden Flamme länger und heftiger als beim ersten Mal.
5. Beobachte den Schwefel im Reagenzglas und dokumentiere die verschiedenen Stufen der Veränderung mit der Kamera. Nach einem zähflüssigen Zustand wird der Schwefel erneut dünnflüssig, bevor er zu Verdampfen beginnt. Schütte nun wieder den flüssigen Schwefel in das Wasser im Glas.
6. Dokumentiere das Ergebnis mit der Kamera. Greife nun mit der Pinzette in das Wasser, ziehe das Gebilde aus Schwefelfäden heraus und lege es auf den Fliesen ab. Dokumentiere wieder mit der Kamera.
7. Füge einen Zettel mit Datum und deinem Namen hinzu: „Bitte bis morgen liegen lassen!“ und fotografiere die am nächsten Tag erneut. Prüfe mit der Pinzette die Biegsamkeit!

Beobachtung / Ergebnis

Beim vorsichtigen, kurzen Erhitzen und anschließenden Abschrecken erhält man den Schwefel in *derselben hellgelben Farbe* wie vorher zurück. Die entstehenden Figuren reichen von Tropfenform bis zu deutbaren Gestalten (ähnlich wie beim Neujahrsbrauch „Bleigießen“). Molekülform: S₈

Beim heftigen und längeren Erhitzen wird der Schwefel im Reagenzglas dunkel, zähflüssig und dann wieder dünnflüssig. Beim Abschrecken erhält man *biegsame Fäden, die ein Geflecht bilden* können. Kettenförmiges Riesenmolekül. Nach längerer Liegezeit wird es wieder starr und hellgelb: S₈

Entsorgung

Die Schwefelreste können mit dem Restmüll entsorgt werden, oder – was nachhaltiger wäre – recycelt werden (mörsern, Gefäß: „Recycling-Schwefel für Schmelzexperimente“ bereitstellen).

Zum Nachlesen und Vertiefen: Bitte deine Lehrkraft um eine Kopie des zugehörigen Fachartikels!

Arbeitsblatt 2:

Ein Schlüsselexperiment mit Graphit- und Diamantstift – ist der Unterschied zwischen den beiden Kohlenstoffmodifikationen im Schülerexperiment erfahrbar?

Geräte und Chemikalien: Verschiedene Bleistifte (besser: „Graphitstifte“), Papier, ein Chemophon [3] oder ein Multimeter, ein Diamantstift aus dem Kunstgewerbehandel oder ein Glasbearbeitungs-Set aus dem Baumarkt, ein normales Trinkglas, ein Geschirrhandtuch, eine Papiervorlage mit einem Zeichenmotiv (z.B. eine Blume)

Durchführung 1:

1. Schreibe mit verschiedenen harten oder weichen Bleistiften auf Papier.
2. Falte das Geschirrhandtuch so, dass es fest in das Trinkglas hineinpasst und die Vorlage mit dem Zeichenmotiv unverrutschbar an der Innenwand festhält.
3. Zeichne mit dem Diamantstift die Konturen des Bildes nach.



Beobachtung / Ergebnis 1:

Bleistifte schreiben in Abhängigkeit ihres Graphitgehaltes weicher oder härter. Der Diamant des Glasstiftes/ des Glasbearbeitungs-Sets ist so hart, dass damit auf Glas geschrieben werden kann.

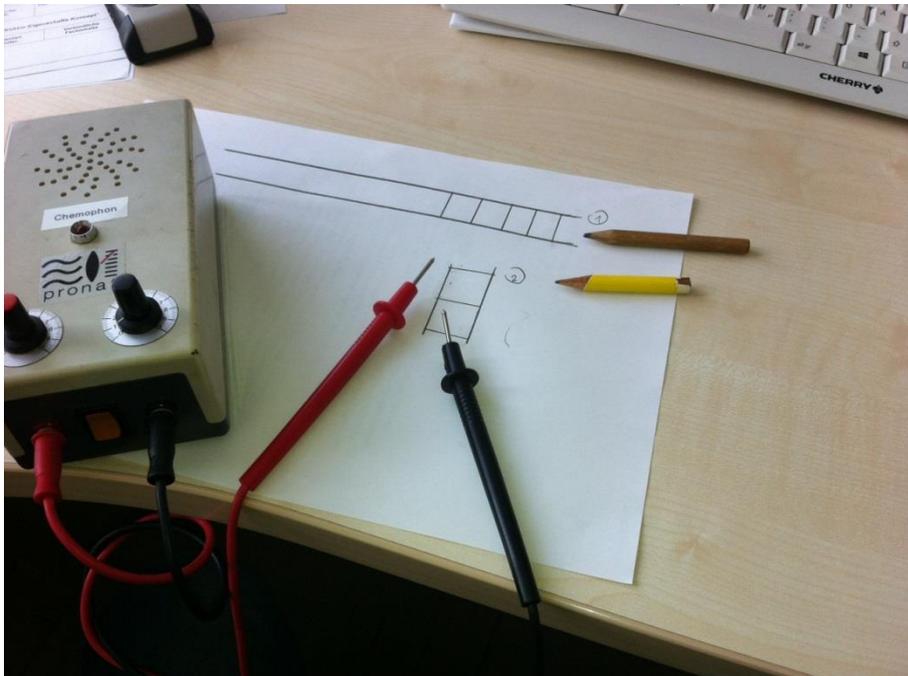
Durchführung 2:

1. Zeichne mit verschieden harten oder weichen Bleistiften eine Leiterskizze auf Papier.
2. Schalte das Chemophon (ersatzweise Multimeter) ein und drücke die Prüfelektroden an zwei verschiedene Punkte der Leiter. Probiere verschiedene Entfernungen aus!
3. Verändere die Schichtdicke der Striche!
4. Zeichne mit einem anderen Bleistift (H2, HB, B2, ...)!

Beobachtung / Ergebnis 2:

Die Länge der Linie beeinflusst Widerstand und Leitfähigkeit. Dies macht man sich z.B. bei einem Potentiometer zu nutzen (Lautstärkeregler beim Radio).

Linien, die mit weichen Bleistiften gezeichnet wurden, leiten den Strom besser, weil weiche Bleistifte weniger Ton und mehr Graphit enthalten.



Entsorgung:

Die Materialien können wiederverwendet oder mit dem Restmüll entsorgt werden.

Zum Nachlesen und Vertiefen: Bitte deine Lehrkraft um eine Kopie des zugehörigen Fachartikels!