ETH

Institut für Verhaltenswissenschaft
Departement Chemie

Gruppenunterricht zum Thema

"Graphit, Diamant und Fullerene"

Schultyp: Gymnasium

Art der Gruppenarbeit: Partner- und Kleingruppenarbeit

Dauer der Unterrichtseinheit: Doppellektion (90 Minuten)

LehrerInnen-Teil

Autor/innen: Patrick Aschwanden,
Walter Caprez,
Rita Oberholzer

Fassung vom: 30.09.2002

Leitidee und Lernziel

Leitidee:

Was haben eine Bleistiftmine und ein Diamant gemeinsam? "Nichts." wird wohl die häufigste Antwort der Schüler auf diese Frage sein. Es ist leicht nachvollziehbar, dass Stoffe, welche aus unterschiedlichen Elementen aufgebaut sind, auch verschiedene Eigenschaften haben. Graphit und Diamant sind jedoch nur aus Kohlenstoffatomen aufgebaut. Wie kommt es also, dass diese beiden Stoffe dennoch ganz verschiedene Eigenschaften haben?

In dieser Gruppenarbeit lernen die Schüler selbstständig, dass die Eigenschaften der Stoffe auch von der Struktur und nicht nur von ihrer Zusammensetzung abhängen.

Dispositionsziele:

Die Schüler sind im weiteren Chemieunterricht dazu in der Lage, Eigenschaften von Stoffen auf Grund ihrer Struktur zu verstehen.
Die Schüler interessieren sich nach dieser Gruppenarbeit vermehrt für Werkstoffe und deren Eigenschaften.

Operationalisierte Lernziele:

- Auf einem A4-Blatt sind die Strukturen der drei behandelten Kohlenstoff-modifikationen gegeben. Jeder Schüler kann den Strukturen die korrekte Bezeichnung zuordnen. Es sind keine Hilfsmittel erlaubt.

- Die Schülerinnen und Schüler können die Leitfähigkeit des Graphits aufgrund seiner Struktur erklären. Die Ausführungen mit Skizze sollten maximal eine halbe A4-Seite beanspruchen. Es sind keine Hilfsmittel erlaubt.

- Die Schüler können die Härte des Diamanten aufgrund seiner Struktur erklären. Die Ausführungen mit Skizze sollten maximal eine halbe A4-Seite beanspruchen. Es sind keine Hilfsmittel erlaubt.

- Jeder Schüler kann ohne Hilfsmittel mindestens 18 der 21 Felder in der Tabelle *"Eigenschaften und Verwendung von Graphit, Diamant und Fullerenen"* korrekt ausfüllen.

Lösungsblatt:

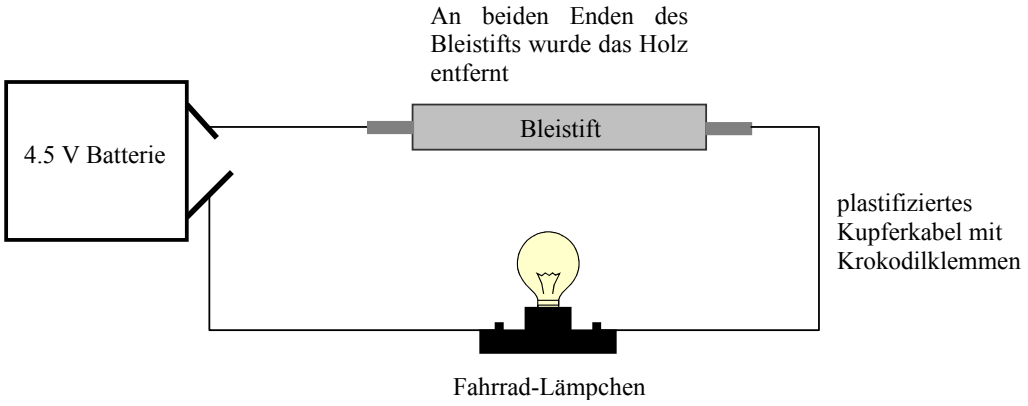
Eigenschaften	Graphit	Diamant
Aussehen	*schwarz* *glänzend*	*farblos* *durchsichtig* *stark lichtbrechend*
Härte	*weich*	*hart*
elektrische Leitfähigkeit	*horizontal zu den Schichten: gut* *vertikal zu den Schichten: keine*	*keine*
Schmelztemperatur	*3700 °C*	*wird bei 1500 °C und unter Luftausschluss zu Graphit*
Dichte	*2.3 g/cm^3*	*3.5 g/cm^3*
Wärmeleitfähigkeit	*gut*	*sehr gut*
Vorkommen	*häufig*	*selten*
Preis	*billig*	*teuer*
Verwendungszwecke		
	Elektroden *Bleistiftminen* *Schmiermittel*	*Bohrkronen* *Glasschneider* *Schleifpulver* *Schmucksteine*
Gemeinsamkeiten		
*Graphit und Diamant sind **Modifikationen** (Erscheinungsformen) des Kohlenstoffs.* ***Modifikationen** bestehen aus denselben Atomen, haben aber durch unterschiedliche räumliche Anordnung der Atome unterschiedliche physikalische und chemische Eigenschaften.*		

Vorgehen:

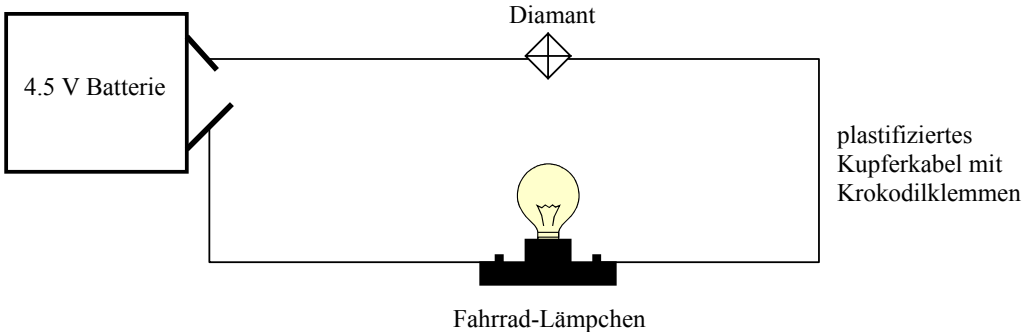
1. Folgende Gegenstände werden benötigt:
    - Graphit
      Die Schüler können mit dem Graphit zeichnen.
    - Diamant
      klassenabhängig
    - Glasschneider und Glasplatte
      Wahlweise kann der Lehrer auch selbst eine Glasplatte auf dem Hellraumprojektor zerschneiden.

   Während der Partnerarbeit zirkulieren diese Gegenstände zwischen den einzelnen Gruppen.

2. Die Lehrkraft zeigt mit Hilfe des folgenden Experiments, dass Graphit in der Lage ist, den elektrischen Strom zu leiten:



3. Die Lehrperson zeigt mit Hilfe des folgenden Experiments, dass Diamant ein elektrischer Isolator ist.



4. Die Lehrperson gibt die Gemeinsamkeit von Graphit und Diamant bekannt:
   „Graphit und Diamant bestehen ausschliesslich aus Kohlenstoff-Atomen.“

5. Partnerarbeit (5 Minuten)

6. Besprechung der Resultate im Plenum (10 Minuten). Die Lehrperson schreibt die gesammelten *Eigenschaften*, *Verwendungszwecke* und *Gemeinsamkeiten* an die Wandtafel. Die Lernenden können dadurch selbst die eigene Leistung beurteilen und müssen nicht auf den Rot- oder Grünstift des Lehrers warten.

Schriftlich ausformulierter Einstieg

In den vergangenen Lektionen haben Sie viel über den Aufbau von Molekülen gelernt. Manches mag Ihnen dabei etwas trocken vorgekommen sein.

- *„Wozu muss ich wissen, wie ein Molekül aussieht?“*
- *„Gibt es einen direkten Bezug zum Alltag?“*
- *„Was sind die Konsequenzen?“*

... – Fragen, die sich bestimmt einige von Ihnen gestellt haben. Es ist also höchste Zeit, etwas konkreter zu werden!

In dieser Doppelstunde behandeln wir deshalb das Thema: „Graphit, Diamant und Fullerene“. Vor allem Graphit und Diamant dürften Ihnen aus dem Alltag bekannt sein. Die dritte Modifikation des Kohlenstoffs – das Fulleren – wurde erst 1985 entdeckt und führte 1996 zum Chemie-Nobelpreis. Ich bin sicher, dass noch alle wissen was der Begriff **“Modifikation“** bedeutet. Kann ihn mir jemand in wenigen Stichworten erklären?

Wir haben in der vorangegangene Partnerarbeit bereits die Eigenschaften von Graphit und Diamant erarbeitet. Dabei sind uns vor allem die Unterschiede der beiden Kohlenstoffmodifikationen aufgefallen. Es ist leicht nachvollziehbar, dass Stoffe, welche aus unterschiedlichen Elementen aufgebaut sind, verschiedene Eigenschaften haben. Graphit und Diamant sind jedoch nur aus Kohlenstoffatomen aufgebaut. Wie kommt es also, dass diese beiden Stoffe trotzdem ganz verschiedene Eigenschaften haben?
Ziel dieser Doppelstunde ist es, zu erkennen, dass die Eigenschaften der Stoffe von ihrer chemischen Struktur abhängig sind. Warum ist dies wichtig? Sie werden nach dieser Doppelstunde in der Lage sein, die Eigenschaften von Stoffen auf Grund ihrer Struktur zu verstehen. Denken Sie zum Beispiel an die Vielzahl unterschiedlicher Werkstoffe, die Ihnen im Alltag begegnen (z. B. Glas, Kunststoff, etc.). Auch diese verdanken ihre speziellen Eigenschaften oft ihrer chemischen Struktur.

Wie sieht der Zeitplan dieser Doppelstunde aus?
Nach dieser kurzen Einführung werden Sie etwas über den Aufbau der verschiedenen Kohlenstoffmodifikationen[1] hören. Ich werde vorgängig alle Unterlagen dazu verteilen. In der Pause werde ich die Zuteilung für die Gruppenarbeit an die Tafel schreiben. Nach der Pause setzten Sie sich in ihrem Dreierteam zusammen, anschliessend werde ich die Arbeitsblätter verteilen. Ich werde Ihnen die Aufgaben zusätzlich mündlich präsentieren – stellen Sie Fragen, wann immer etwas unklar ist. Für die Gruppenarbeit sollten 30 Minuten reichen. Ich bitte Sie, in dieser Zeit möglichst intensiv, aber leise miteinander zu diskutieren. Für die Besprechung der Lösung und Beschriftung der Arbeitsblätter bleiben uns dann noch ungefähr 15 Minuten.

[1] kohlenstoff.doc = Skript zu den Powerpointf-Folien, kann auch den SchülerInnen abgegeben werden.

Gruppenarbeit zum Thema: Graphit, Diamant und Fullerene

In den vergangenen Lektionen haben Sie viel über den Aufbau und die Struktur von Molekülen gelernt. In der heutigen Doppellektion haben wir dieses Wissen an Graphit, Diamant und Fulleren vertieft. Aufgefallen sind uns dabei besonders die gegensätzlichen Eigenschaften. Diese sind zweifellos in den Strukturen der drei besprochenen Kohlenstoff-modifikationen zu suchen.

Jetzt liegt der Ball bei Ihnen! Erklären Sie mit Ihrem Wissen über Struktur und Aufbau der Stoffe die Eigenschaften von Graphit, Diamant und Fulleren.

Aufgabenstellung:

Lesen und beantworten Sie die Fragen auf den beiliegenden Arbeitsblättern.

Arbeitsform:

Sie arbeiten in Dreierteams. Beantworten sie zuerst während 15 Minuten alle Fragen für sich allein. Vergleichen Sie anschliessend die Resultate in Ihrem Team. Helfen Sie sich gegenseitig die Arbeitsblätter zu vervollständigen. Vergessen Sie aber nicht, sich dabei rücksichtsvoll und leise zu unterhalten! Das Skript darf verwendet werden.

Zeit:

Für die Gruppenarbeit sind 30 Minuten vorgesehen. Die restlichen 15 Minuten der Stunde werden zur Diskussion der Resultate verwendet.

Massstab:

Innerhalb einer Gruppe sollten alle Fragen stichwortartig beantwortet sein. Zeichnen Sie zur Veranschaulichung wenn möglich eine Skizze. Am Schluss der Stunde sollte jedes Team in der Lage sein, eine beliebige Aufgabe möglichst vollständig an der Wandtafel zu präsentieren. Das Resultat wird anschliessend von Ihren Klassenkameraden diskutiert und allenfalls ergänzt.

Vorgehen:

1. Gruppenzuteilung an die Wandtafel schreiben. Die Gruppen werden nach folgenden Kriterien gebildet:
    - Gruppengrösse: **3 – 4** SchülerInnen
    - **gemischte** Gruppen (leistungsschwache und sehr gute Schüler)
    - **homogene** Gruppen (nur mittelgute Schüler)

2. Nachdem sich die einzelnen Gruppen formiert haben, werden die Aufgabenblätter verteilt. SchülerInnen informieren, ob es eine Benotung gibt. (Gruppenarbeit ohne Noten verbessert das Problemlösen.) Anleitung zur Gruppenarbeit präsentieren.

3. Folgende Gegenstände werden auf die Gruppen verteilt:
    - Graphit / Modell der Graphitstruktur
    - Diamant / Modell der Diamantstruktur
    - Fulleren gelöst in Toluol (optional) / Modell des C_{60}-Fullerens

    Während der Gruppenarbeit zirkulieren diese Gegenstände zwischen den einzelnen Gruppen.

4. Gruppenarbeit (30 Minuten)

5. Besprechung der Resultate im Plenum (15 Minuten). Ausgewählte Aufgaben werden von den Gruppen an der Tafel vorgelöst. Die Lernenden können dadurch selbst die eigene Leistung beurteilen. Die Klasse ergänzt allenfalls die präsentierten Resultate. Die Lösungsblätter auf den folgenden Seiten dienen nur der Vollständigkeit. Sie kommen während der Besprechung der Gruppenarbeit nicht zum Einsatz.

6. Am Schluss der Stunde werden zur Lernkontrolle drei Hausaufgaben verteilt. Diese werden in der nächsten Lektion besprochen.

Lösungsblatt zum Graphit

1. Erklären Sie mit Hilfe der Struktur, warum Graphit den elektrischen Strom leitet.

Der Kohlenstoff hat vier Valenzelektronen. Im Graphit werden jeweils drei Valenzelektronen für die kovalenten Bindungen innerhalb der Schichten verwendet. Die "vierten" Valenzelektronen bauen ein über die ganze Schicht reichendes delokalisiertes Elektronensystem auf. Darin können sich die Elektronen frei bewegen. Es findet ein Stromfluss statt.

2. Erklären Sie mit Hilfe der Struktur, warum Graphit als Schmiermittel verwendet wird.

Zwischen den einzelnen Schichten des Graphitgitters wirken nur schwache, nicht kovalente Kräfte. Deshalb lassen sich die relativ weit auseinanderliegenden Schichten leicht gegeneinander verschieben. Dies erklärt die geringe Härte des Graphits sowie seine Verwendung als Gleit- und Schmiermittel.

3. Erhitzt man Kohle und Erdöl unter Luftausschluss (Pyrolyse), erhält man Graphit (siehe Skript). Wieso ist es wichtig, dass dies **unter Sauerstoffausschluss** geschieht?

Kohle und Erdöl sind beides Kohlenwasserstoffverbindungen. Bei der vollständigen Verbrennung von Kohlenwasserstoffverbindungen mit Sauerstoff entsteht ausschliesslich Wasser und Kohlenstoffdioxid. Dieser Prozess muss bei der Graphitherstellung unterdrückt werden → Luftausschluss.

Lösungsblatt zum Diamant

1. Erklären Sie mit Hilfe der Struktur, warum Diamant ein elektrischer Isolator ist.

Der Kohlenstoff hat vier Valenzelektronen, die im Diamantgitter alle zur Bildung kovalenter Bindungen verwendet werden. Es gibt kein delokalisiertes Elektronensystem, wie dies im Graphit der Fall ist. Sämtliche Elektronen sind lokalisiert. Damit ist kein Ladungsfluss durch das Gitter möglich.

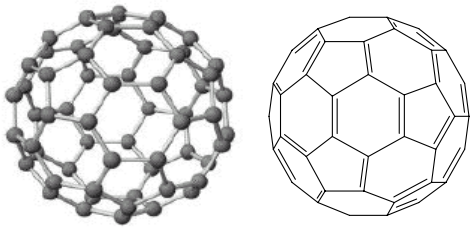
2. Erklären Sie mit Hilfe der Struktur, warum Diamant so hart ist.

Die enorme Härte des Diamanten beruht darauf, dass die Atome in diesem hochsymmetrischen Gitter nicht gegeneinander verschoben werden können.

3. Künstlicher Diamant lässt sich bei hohen Temperaturen (ca. 2000°C) aus Graphit herstellen. Warum braucht es dazu einen **hohen Druck** (über 50 kbar)?

Durch den hohen Druck werden die Schichten des Graphits gegeneinander gepresst. Die delokalisierten Elektronen "sehen" die Kerne der nächsten Schicht und bilden eine kovalente Bindung aus. Die Bildung einer kovalenten Bindung kostet Energie, die in diesem Fall in Form von Wärme und Druck zugefügt wird.

Lösungsblatt zum Fulleren



C_{60}

1. Fullerene besitzen wie Graphit ein delokalisiertes Elektronensystem. Erklären Sie, weshalb Fulleren-Pulver den elektrischen Strom trotzdem nicht leitet.

Fullerene sind im Gegensatz zum Graphit einzelne Moleküle. Innerhalb eines Fulleren-Moleküls können sich die Elektronen frei bewegen. Zwischen den einzelnen Molekülen findet jedoch keine Elektronenübertragung statt. Deshalb leitet pulverförmiges Fulleren den elektrischen Strom nicht.

2. Erklären Sie mit Hilfe der Struktur, warum das C_{60}-Fulleren eine geringere Dichte als Diamant hat.

Fullerene sind kugelförmige Moleküle die einen grossen Hohlraum besitzen. Aufgrund dieser Struktur ist die Dichte der Fullerene mit 1.7 g/cm^3 relativ klein.
Im Gegensatz dazu besteht der Diamant aus einer dicht gepackten Gitterstruktur. Diamant hat daher mit 3.5 g/cm^3 die grösste Dichte der drei Kohlenstoffmodifikationen.

Lösung zur Lernkontrolle

1. **Eine ideale Graphitstruktur leitet den elektrischen Strom nur horizontal zu den Schichten.**

   Erklären Sie, weshalb senkrecht zu den Schichten kein Stromfluss stattfinden kann.

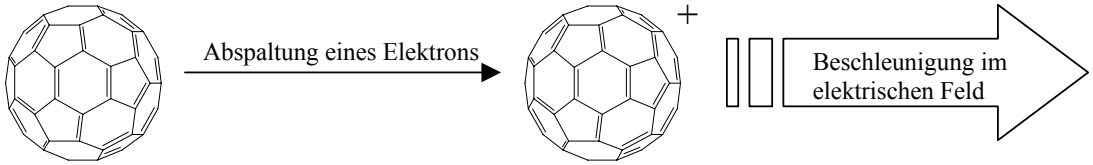
Vertikal zu den Schichten existiert kein delokalisiertes Elektronensystem → kein Stromfluss

2. **Reines Silizium ist ein Halbleiter. Bei hohen Temperaturen leitet der Kristall den elektrischen Strom, bei Zimmertemperatur jedoch nicht.**

   Zeichnen Sie die chemische Struktur eines reinen Silizumkristalls bei Zimmertemperatur.

Reines Silizium hat bei Zimmertemperatur dieselbe Struktur wie Diamant.

3. **Bei der NASA wird momentan C_{60} als Treibstoff für Ionentriebwerke getestet. Das Prinzip des Ionentriebwerks basiert auf der Abspaltung von Elektronen aus den Treibstoffmolekülen. Dadurch entstehen positiv geladene Teilchen, die sich in einem elektrischen Feld beschleunigen lassen. Auf diese Weise werden Geschwindigkeiten bis zu 50 km/s erreicht. Bis jetzt wird in Ionentriebwerken vor allem das schwere Edelgas Xenon verwendet.**



   Nennen Sie mindestens zwei Gründe, warum sich Fullerene besonders gut als Treibstoff für Ionentriebwerke eignen könnten.

---

1) Das C_{60}-Fulleren ist mit einer Molmasse von 720.6 g/mol ein sehr grosses und schweres Molekül im Vergleich zum Xenonatom mit 131.30 g/mol. Je grösser die Masse des beschleunigten Teilchens, desto grösser der erzeugte Rückstoss, desto höher die Geschwindigkeit.

2) Es ist relativ einfach, ein Elektron aus dem grossen delokalisierten Elektronensystem des Fullerens abzuspalten.

3) Xenon ist relativ selten und teuer. Fulleren lässt sich vielleicht in Zukunft noch einfacher aus dem billigen Graphit herstellen.