

## Modul Carbonfasern (Chemie)

**Carbonfasern** (auch: Kohlenstofffasern oder Kohlefasern) sind industriell hergestellte Fasern aus kohlenstoffhaltigen Ausgangsstoffen. Durch die graphitartige Anordnung der Kohlenstoffatome zeigt das Material hervorragende Eigenschaften hinsichtlich Festigkeit und Steifigkeit.

Eine Kohlenstoff-Faser hat einen Durchmesser von ca. 5-9 Mikrometer. Üblicherweise werden 1.000 bis 24.000 Einzelfasern (Filamente) zu einem Filamentgarn zusammengefasst, das aufgespult wird. Die Weiterverarbeitung erfolgt zum Beispiel auf Webmaschinen, so dass unter anderem textile Strukturen entstehen können.

Die Fasern werden überwiegend zur Herstellung von **carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK)** verwendet, bei denen die Carbonfasern in einer Kunststoff-Matrix eingebettet sind.

Aufgrund der hervorragenden mechanischen Eigenschaften der CFK bei gleichzeitig vergleichsweise geringer Dichte (aber relativ hohem Preis), dringen sie in zunehmend mehr Anwendungsgebiete vor.

Seit längerem sind CFK-basierte Sportgeräte bekannt (z. B. „Carbon-Fahrrad“; Tennisschläger, Angelruten usw.). Industriell bedeutsamer ist die Verwendung im Flugzeugbau (z. B. Rumpf der Boeing 787, Seitenleitwerk des Airbus A 380).

Ein aktuelles Beispiel mit lokalem Bezug ist die Entwicklung von Elektroautos mit Fahrgastzellen aus CFK durch BMW. Der BMW i3 ist das erste Großserienfahrzeug mit diesem Aufbau (Verkaufsstart Deutschland: November 2013).

### Einsatz im Unterricht

#### Lehrplanbezug:

Im Rahmen von HoriZONTEc ist der Einsatz dieses Moduls in der 10. Jahrgangsstufe erprobt worden. Ein inhaltlich reduzierter Einsatz in der Jahrgangsstufe 8 ist denkbar. In der Jahrgangsstufe 11 steht das Thema „Carbonfasern“ explizit im Lehrplan (siehe unten die Voraussetzungen für die Durchführung der experimentellen Teile).

- Jahrgangsstufe 8 (NTG): 8.3 Salze, Metalle und molekular gebaute Stoffe; Vielfalt molekular gebauter Stoffe
- **Jahrgangsstufe 10 (NTG): Die anorganische Seite des Kohlenstoffs: Kohlenstoffmodifikationen) (10.4)**
- Jahrgangsstufe 11: 11.3 Struktur und Eigenschaften von Kunststoffen; Carbonfasern als moderne Werkstoffe

## Organisatorische Voraussetzungen:

- Profilstunden in geteilten Klassen
- Chemie-Übungsraum (Standardausstattung)
- Computerraum oder Ähnliches für Internet-Recherchearbeit

## Materialien:

Carbonfasern und CFK sind bei Händlern für Modellbau erhältlich.

Recht günstig und sehr zuverlässig ist die Firma R & G Faserverbundwerkstoffe ([www.r-g.de](http://www.r-g.de)). Die folgenden Artikelbezeichnungen beziehen sich auf Angaben aus deren Online-Shop.

Die folgenden Artikel werden für die Durchführung der Versuche auf jeden Fall benötigt:

- **Kohlefaserschlauch: Durchmesser 18mm; Rolle 10m;** Artikelnummer 2021005; ca. 42€ inkl. MWSt.; ausreichend für die CFK-Herstellung in bis zu zehn Klassen mit je 30 Schüler.
- **5 Min.-Epoxy, Arbeitspackung (100 g) Karton/ 6 Pkg.;** Artikelnummer 1551010; ca. 34,00 € inkl. MWSt.; je Klasse wird etwa eine Packung benötigt

Aus dem Kohlefaserschlauch können die Kohlefasern für die Versuche mit unbehandelten Carbonfasern herausgezogen werden. Alternativ können bei R&G verschiedenste Kohlefasergewebe gekauft werden, die auch für Demonstrationszwecke sehr geeignet sind (suche unter „Kohlegewebe“). Es werden auch fertige CFK-Teile verkauft, z. B. CFK-Stäbe (suche unter „CFK“).

Weitere Materialien:

- **LED bedrahtet rot rund 5 mm;** z. B. bei Elektro Conrad (Bestellnummer 184543 – 05; 0,07 €/ Stück. Zzgl. MWSt.; Mengenrabatt möglich). Empfehlenswert ist der Kauf einer größeren Menge (z. B. 100 Stck.), da die Dioden eine relativ kurze Lebensdauer besitzen.
- **Blockbatterien 9V** (halber Klassensatz)
- **Pinsel:** Einfache Malpinsel zum Aufstreichen des Epoxidharzes auf den Carbonfaserschlauch. Es eignen sich alte Pinsel.

Die übrigen Materialien und Geräte (siehe Versuchsanleitungen) sind Standardausrüstung von Schulen.

## Verlaufsplan

Stunden- zahl	„normaler“ Unterricht (Chemiesaal)	Profilstunde (halbe Klasse im Chemie- Übungsraum)	Inhalt
1	x		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedeutung von Carbonfasern (kurzer Überblick)</li> <li>• Demonstration von Carbonfasern</li> <li>• Herstellung von Carbonfasern (Arbeitsblatt)</li> </ul>
1		x	<p><b>Übung</b></p> <p>Vergleich von Carbonfasern mit Diamant und Graphit</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Betrachtung unter dem Binokular</li> <li>• Messung der elektrischen Leitfähigkeit</li> </ul>
1		x	<p><b>Übung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung eines carbonfaserverstärkten Kunststoffes (CFK)</li> </ul>
1		x	<p><b>Übung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Galvanisieren von Carbonfasern (und CFK)</li> </ul>
1	x		<p>Evtl. im Computerraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideen entwickeln zu Anwendungen in einer Stadt der Zukunft (mit Zeichnungen)</li> <li>• Vorstellung der eigenen Ideen und Entwürfe</li> <li>• Internetrecherche zu Anwendungsgebieten von CFK und Carbonfasern</li> </ul>

## Unterrichtsdurchführung:

### 1. Stunde: Einführung

- Bedeutung von Carbonfasern und CFK  
Zum Einstieg bieten sich zum Beispiel Bilder und Zeitungsartikel zu den neuen CFK-basierten Autos von BMW (i3 und i8) an. Weitere Verwendungsgebiete können genannt werden.
- Demonstration von Carbonfasern und CFK  
Das vorhandene Demo-Material wird gezeigt. Der Unterschied zwischen CFK und Carbonfasern wird erklärt.
- Herstellung von Carbonfasern und CFK  
Erarbeitung anhand der Arbeitsblätter AB\_Carbonfasern\_Herstellung und AB\_Carbonfasern\_Herstellung\_Lösung.

### 2. Stunde:

Durchführung der Schülerübung gemäß AB\_Carbonfasern\_Übung\_Leitfähigkeit\_Binokular

- Betrachtung unter dem Binokular

Durch das Verzwirbeln der Fasern können tatsächlich immer dünnere Fasern herausgezogen werden. Diese sind erkennbar dünner als menschliche Kopfhaare.

**Tipp:** Falls vorhanden ist der Vergleich mit der Betrachtung von Graphit und von Diamantsplintern äußerst interessant für die Schüler. Es empfiehlt sich in diesem Fall, vorhandene Molekülmodelle der Kohlenstoffmodifikationen vorzuzeigen.

- Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit von Carbonfasern

In der Regel beherrschen Schüler der 10. Jahrgangsstufe das Zusammenbauen der Prüfapparatur.

Die Lehrkraft achtet darauf, dass kein Kurzschluss erzeugt wird (damit sich die Batterie nicht entleert) und dass die LED richtig gepolt ist, damit sie nicht kaputt geht.

Die elektrische Leitfähigkeit ist leicht nachweisbar. Je dünner die Fasern werden, desto schwieriger ist dies.

Die Erklärung für die elektrische Leitfähigkeit erfolgt gemäß der bekannten Begründung bei Graphit.

**Tipp:** Auch hier bietet es sich an, ebenfalls Graphit und Diamant zu testen und den Unterschied aus der Molekülstruktur abzuleiten.

### 3. Stunde:

Durchführung der Schülerübung gemäß AB\_Carbonfasern\_Übung\_Herstellung\_CFK.

- Herstellung eines carbonfaserverstärkten Kunststoffes (CFK)

Auch in der Praxis werden CFK vor allem mit Epoxid hergestellt.

Die Kunststoffolie ist nötig, damit der Carbonfaserschlauch nicht mit dem Reagenzglas verklebt. Jede dünne Folie, wie z. B. Brotzeittüten oder Abfalltüten, ist hier geeignet.

Das Aufziehen des Carbonfaserschlauches ist nicht ganz einfach. Es besteht immer die Gefahr, dass die Fasern aus der Textur gehen. Je länger die Stücke sind, desto einfacher ist es.

Die Komponenten des Epoxidharzes können von der Lehrkraft oder von zuverlässigen Schülern zusammengerührt werden. Das Bepinseln sollte dann zügig erfolgen. Die Sicherheitshinweise sind streng zu beachten.

Nach dem vollständigen Austrocknen können die Röhrchen mit den Händen berührt werden. Sie besitzen hohe mechanische Stabilität.



Schüler beim Bestreichen des Kohlefaserschlauches mit Epoxidharz.

#### 4. Stunde:

Durchführung der Schülerübung gemäß AB\_Carbonfasern\_Übung\_Galvanisieren.

- Galvanisieren von Carbonfasern bzw. von CFK

Die Schüler könnten hinsichtlich des Galvanisierens Vorwissen aus der Jahrgangsstufe 9 besitzen (Elektrolyse).

Als Elektrolyslösung kann selbst hergestellte Kupfer(II)-sulfat-Lösung verwendet werden, der ein bis wenige Tropfen Schwefelsäure zugefügt werden. Für eine Durchführung im Alkalischen müsste ein geeigneter Komplexbildner zugefügt werden, um das Ausfallen von Kupfer(II)-hydroxid zu verhindern.

Bei den unbehandelten Carbonfasern ist nach wenigen Minuten eine oberflächliche Rotfärbung erkennbar. Bei CFK dauert es länger und der Effekt ist schwächer. Die Ursache für den Unterschied ist mit den Schülern leicht zu erarbeiten (Unterschied in der elektrischen Leitfähigkeit).

Meist ist an den Elektroden eine Gasentwicklung erkennbar (Elektrolyse von Wasser).

Nach dem Herausnehmen und nach Abspülen mit Wasser kann das Material genauer betrachtet werden. Handschuhe verwenden! Die Beschichtung geht leicht ab. Es handelt es sich auch um Kupfer(I)-oxid.

Dies ist ein Modellversuch, der die Weiterverarbeitung von Werkstücken, hier durch Galvanisieren, beschreibt. Galvanisches Beschichten von Kunststoffen wird bei Auto-Karosserieteilen (z. B. Kühlergrills) durchgeführt. Das galvanische Beschichten von CFK wird stark beforscht.

#### 5. Stunde:

Die Unterrichtseinheit kann mit Überlegungen und Recherchen zu weiteren Anwendungsgebieten von Carbonfasern und CFK abgeschlossen werden.

Es ist empfehlenswert, zuerst die Schüler selbst überlegen und zeichnen zu lassen, wofür – z. B. in einer **Stadt der Zukunft** – diese Werkstoffe Verwendung finden könnten. Diese Überlegungen und Zeichnungen werden der Klasse präsentiert.

Anschließend kann eine Internet-Recherche durchgeführt werden.