

Es wird bunt: Elektrophile Addition als Schnittstelle zwischen Reaktionsmechanismen und Farbstoffchemie

Dirk Beyer, Wurselen

Niveau: Sek. II

Dauer: 4 Unterrichtsstunden

Bezug zu den KMK-Bildungsstandards

Fachwissen: Erarbeitung der physikalischen Grundlagen von Farbstoffen und Farbigkeit anhand von organischen Molekülen mit delokalisierten π -Elektronensystemen im Rahmen der Stoff-Struktur-Beziehung. Erklären und Formulieren des Reaktionsmechanismus der elektrophilen Addition an Doppelbindungen und deren Einfluss auf organische Farbstoffmoleküle.

Erkenntnisgewinnung: Im Umgang mit ausgewählten Texten und Videosequenzen werden die Grundlagen der Farbstoffchemie delocalisierter π -Elektronensysteme nahezu eigenständig erarbeitet. Über einen Lehrerversuch zur Reaktion von Tomatensaft mit Bromwasser wird der Reaktionsmechanismus der elektrophilen Addition erarbeitet und dessen Auswirkung auf organische Farbstoffmoleküle erklärt.

Kommunikation: Beim Einsatz der Arbeitsblätter sind unterschiedliche Unterrichtsformen und kooperative Lernformen möglich. Neben THINK-PAIR-SHARE und Kleingruppenarbeit, werden zusätzlich unterschiedliche Methoden der Texterarbeitung und Vorwissenaktivierung verwendet.

Der Beitrag enthält Materialien für:

- ✓ offene Unterrichtsformen
- ✓ kooperative Lernformen
- ✓ Hausaufgaben
- ✓ Lehrerversuch
- ✓ fachübergreifenden Unterricht

Hinweise zur Didaktik und Methodik

Reaktionsmechanismen spielen in der organischen Chemie eine entscheidende Rolle und bilden somit einen festen Bestandteil des Kernlehrplans für den Chemieunterricht der Sekundarstufe II im Grund- und Leistungskurs. Die Schülerinnen und Schüler* erwerben neues Fachwissen, das besonders den Aufbau und die Eigenschaften organischer Moleküle sowie deren funktionelle Gruppen beinhaltet. Hierbei wird zwischen chemischen und physikalischen Eigenschaften nur wenig differenziert, sodass nicht nur die Thematik der Löslichkeit in verschiedenen polaren und unpolaren Lösungsmitteln, sondern auch die Veränderung von Schmelz- und Siedepunkten thematisiert wird.

Die Lehrpläne sehen zudem vor, dass ein Reaktionstyp/Reaktionsmechanismus sowohl im Grund- als auch im Leistungskurs ausführlich thematisiert wird. Zu diesem Zweck bezieht sich dieser Beitrag auf den Prozess der **elektrophilen Addition** an C=C-Doppelbindungen. Exemplifiziert wird dieser Reaktionstyp unter Einbezug des Themas **Farbstoffe und Farbigkeit**, das ebenfalls noch bis zum Jahr 2016 (alternativ zu den Grundlagen der *Makromolekularen Chemie*) fakultativ behandelt werden kann, ab 2017 jedoch gleichermaßen der Obligatorik unterliegt.[†]

Aus gegebenem Anlass erscheint eine Verknüpfung beider Themengebiete unter dem Oberthema der organischen Chemie sinnvoll.

* Im weiteren Verlauf wird aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit nur „Schüler“ verwendet. Schülerinnen sind genauso gemeint.

[†] bezieht sich auf Kernlehrplan NRW

Hinweise zur Didaktik und Methodik

Das Thema „Farbstoffe und Farbigkeit“ ist bei Schülern ein beliebtes Thema, mit dem viele von ihnen sich gerne intrinsisch motiviert im Rahmen des Chemie- und/oder Physikunterrichts beschäftigen. Dies ist u. a. auf einen hohen Alltagsbezug und somit gute Kontextorientierung zurückzuführen. Viele Versuche zur Entwicklung und zu den Eigenschaften von Farben und Farbstoffen helfen den Schülern, ihre Umgebung und somit ihren Lebensalltag besser zu verstehen.

Das Material **M 1** dient somit zunächst der Aktivierung von Vorwissen und der Einordnung neuer kognitiver Strukturen. Zu diesem Zweck visualisieren die Mitglieder der Lerngruppe zuerst ihr bereits vorhandenes (Vor)Wissen via *Mindmap* oder in einem Begriffsnetz (*Concept Map*). Da der Einsatz von Concept Maps im Chemieunterricht bisher noch nicht sonderlich ausgeprägt, aber trotzdem sehr zu empfehlen ist, bietet der folgende Link einige nützliche Hintergrundinformationen für Schüler sowie Lehrkräfte im Umgang und bei der Erstellung von Begriffsnetzen:

www.uni-due.de/imperia/md/content/chemiedidaktik/ag-sumfleth/trainingsprogramm-concept_mapping-strategie.pdf

Hier ist als weiterführende Literatur ebenfalls Kranz/Schorn (2008) zu empfehlen (siehe „Literatur“ Seite 4).

Bei der ersten Erstellung der Grafik ist darauf zu achten, dass die Schüler nur eine Farbe verwenden. Die Darstellung wird im Verlauf der Unterrichtseinheit noch durch andere Farben erweitert. Um Kopierkosten zu sparen, kann die Folie auch auf Folie kopiert werden, da die Concept Map/Mindmap auf einem separaten Blatt im Chemiehefter angefertigt wird.

Im zweiten Schritt werden zwei (frei zugängliche) Videos betrachtet, zu welchen die Schüler sich wichtige Schlagwörter notieren und ihre Concept Map/Mindmap durch diese (in anderer Farbe geschrieben) ergänzen. Durch die Verwendung verschiedener Farben wird den Schülern ihr Wissenszuwachs systematisch visualisiert.

Material **M 2** besteht aus einem Informationstext zum Thema „Farbstoffe und Farbigkeit“, der die Schüler mit Hilfe der *Kernaussagen-Methode* erschließen. Diese Methode eignet sich besonders im Umgang mit komplexen Sachtexten. Die Schüler lesen zunächst den Text und markieren wichtige Fachbegriffe. Anschließend wird der Text auf seine Kernaussagen und danach auf wichtige Schlüsselbegriffe reduziert. Optional können die Schüler mit Hilfe der Schlüsselbegriffe den Text auch in Partnerarbeit rekonstruieren und sich gegenseitig inhaltliche Fragen stellen. Ergänzend dazu verwenden die Schüler die Schlüsselbegriffe des Textes und ergänzen ihre Mindmaps/Concept Maps aus M 1. Sie verwenden dann wieder eine andere Farbe. Um die entsprechenden Fachinformationen für die Schüler zu visualisieren, kann Material M 5 und/oder die Farbfolie M 6 verwendet werden. Aus ihnen ergibt sich eine Exemplifizierung verschiedener organischer Farbstoffmoleküle, woran sich die delokalisierten Elektronen der Doppelbindungen erkennen lassen sowie eine Übersicht des elektromagnetischen Spektrums und additiver/subtraktiver Farbmischungen.

Der Lehrerversuch in **M 3** zeigt eine gute Anwendung des neu erworbenen Fachwissens. Die Reaktion von Bromwasser mit Tomatensaft fungiert als Verknüpfung der Themen „Farbstoffe und elektrophile Addition“. Die Schüler wissen, dass Farbigkeit auf energetische Absorption und delokalisierte Elektronen in einem Molekül zurückzuführen ist und wenden dieses Wissen am Beispiel des Tomatensaftfarbstoffs Lycopin an. Mittels Veränderung der Farbigkeit wird auf die Verringerung delocalisierter Elektronen geschlossen, welche durch Addition von Bromatomen an das Lycopin-Molekül geschieht.

Aufgrund der Giftigkeit von Bromwasser sollten entsprechende Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden (Schutzkleidung, Abzug). Es ist außerdem wichtig, frisches und konzentriertes Bromwasser zu verwenden. Die Schüler erarbeiten anschließend die nötige Deutung des Versuchs unter Verwendung von Material **M 2** und **M 4**.

www.uni-due.de/imperia/md/content/chemiedidaktik/ag-sumfleth/trainingsprogramm-concept_mapping-strategie.pdf

Die Methode des Concept-Mapping wird ausführlich erklärt und ist didaktisch für Lehrer und Schüler gut aufbereitet.

www.seilnacht.com/Lexikon/Reseda.htm

Hier finden Sie Informationen zum Färberwau.

www-organik.chemie.uni-wuerzburg.de/fileadmin/08020000/pdf/erlebnis/regenbogen_tomatensaft.pdf

Eine übersichtliche Zusammenfassung der Versuchsbeschreibung passend zum Lehrerversuch M 3 und ein Ansatz zur Deutung der chemischen Reaktion.


www.studienseminar-koblenz.de/bildungswissenschaften/methodenwerkzeuge.htm

Das Studienseminar Koblenz bietet Erläuterungen zu einer Vielzahl verschiedener Unterrichtsmethoden und ist für jeden Lehrer und Referendar eine Bereicherung.

Materialübersicht

- ⌚ V = Vorbereitungszeit LV = Lehrerversuch Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt
⌚ D = Durchführungszeit Fo = Folie GBU = Gefährdungsbeurteilung
FoVo = Folienvorlage

#Die [Gefährdungsbeurteilungen](#) finden Sie auf  CD 51.

M 1	Ab	Die Welt ist bunt
M 2	Ab, Info	Was macht die Welt bunt?
M 3	LV, GBU*	Ein Regenbogen im Tomatensaft
	⌚ V: 5 min ⌚ D: 5–10 min	<input type="checkbox"/> frisches Bromwasser (gesättigt, 15 ml)  <input type="checkbox"/> Tomatensaft (50 ml) <input type="checkbox"/> Standzylinder (Glas, 200 ml) mit Stativ <input type="checkbox"/> Pipette mit Peleusball <input type="checkbox"/> Glasstab
M 4	3 Ab	4.1 Reaktion von Brom mit Ethen (elektrophile Addition) 4.2 Filmleiste zur elektrophilen Addition von Brom an Ethen 4.3 Tippkarten zum Reaktionsmechanismus
M 5	FoVo	Organische Farbstoffe
M 6	Fo	Grundlagen zur Farbigkeit
M 7	Ab	Selbstdiagnosebogen – Elektrophile Addition und Farbigkeit

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie [hier](#).

M 2 Was macht die Welt bunt?

In diesem Text erfahren Sie mehr über die physikalisch-chemischen Grundlagen von Farbstoffen und Farbigkeit.



A



B



C

Fotos: Thinkstock/iStock

Text	Kernaussagen	Schlüsselwörter
<p>5 Unser Leben ist bunt. Natürliche und synthetische Farbstoffe sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Seit Tausenden von Jahren sind Menschen in der Lage, mit Farben umzugehen: Sie malen mit Farben und kreieren Farbstoffe, die für verschiedenste Anwendungen benötigt werden.</p> <p>10 Viele organische Verbindungen, die wir z. B. aus Pflanzen, Früchten [A] oder Tieren [B] kennen, sind farbig, wenn sie einen bestimmten Spektralbereich des sichtbaren Lichts absorbieren. Dieser für uns Menschen sichtbare Bereich elektromagnetischer Strahlung weist eine Wellenlänge von 380 nm bis zu 780 nm auf. Dieser Bereich wird als sichtbares Spektrum [C] bezeichnet. Trifft Licht einer bestimmten Wellenlänge auf ein bestimmtes</p> <p>15 organisches Molekül, so werden die darin befindlichen Elektronen (hauptsächlich freie, delokalisierte Elektronen in Mehrfachbindungen) durch die Absorption eines Teils der Strahlungsenergie angeregt. Der nicht absorbierte Teil der Strahlungsenergie bzw. des Lichts wird</p> <p>20 vom Stoff reflektiert und erscheint für uns Menschen als sichtbare Komplementärfarbe. So erscheint zum Beispiel das β-Carotin (Farbstoff der Karotte), welches 11 C=C-Doppelbindungen aufweist, als gelb-orange, da es Lichtwellen im Bereich von 440–500 nm (blaues Licht) absorbiert. Atomgruppen, die u. a. delokalisierbare C=C-Doppelbindungen enthalten und aus diesem Grund farbig wirken, werden als Chromophore bezeichnet.</p> <p>25</p>		

Aufgaben

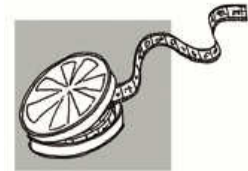
1. **Lesen Sie** den Text und unterstreichen Sie **wichtige Aussagen**.
2. Markieren Sie im Text **Sinnabschnitte** und schreiben Sie die **Kernaussagen** der Sinnabschnitte in die mittlere Spalte.
3. Notieren Sie daneben **Schlüsselwörter** der einzelnen Sinnabschnitte.
4. Besprechen Sie nun mithilfe der Schlüsselwörter den Text mit Ihrem Partner.
5. Erweitern Sie ggf. die Mindmap/Concept Map aus M 1 mit den neuen Schlüsselwörtern. Verwenden Sie hierzu eine neue Farbe.

M 4.1 Reaktion von Brom mit Ethen (elektrophile Addition)


Die Reaktion verschiedener organischer Substanzen mit Halogenen ist in der technischen und organischen Chemie eine wichtige Grundlage zur Synthese verschiedener Stoffe.

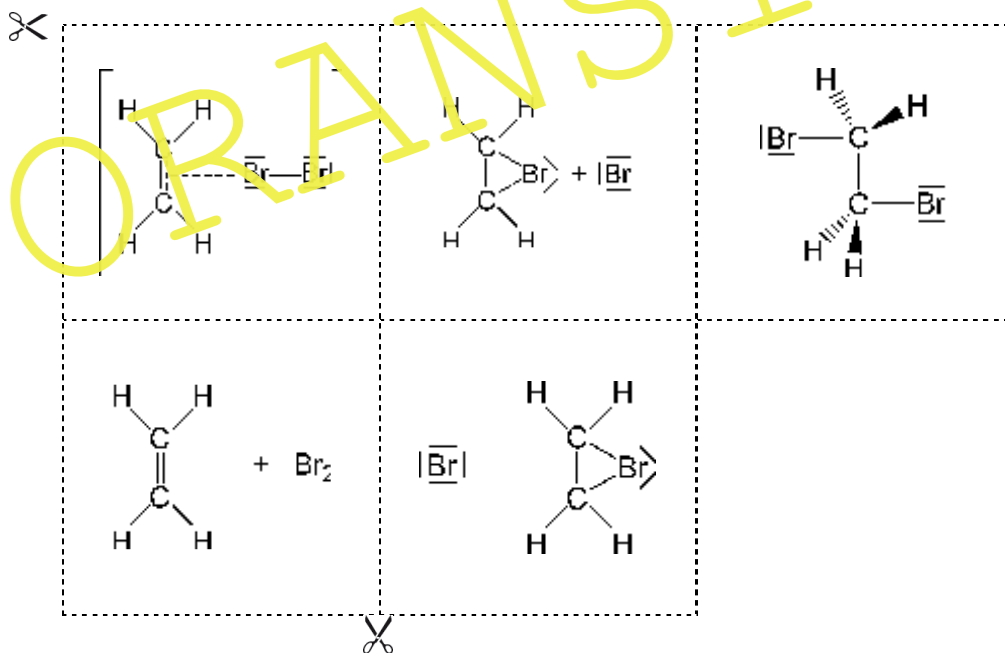
Die folgenden Videos demonstrieren hier die Reaktion von Brom mit Ethen:

- (1) www.youtube.com/watch?v=r8W3t6F1rRc
- (2) www.youtube.com/watch?v=Hnt2zM_G8Fo



Aufgaben

1. Betrachten Sie zunächst das erste Video und machen Sie sich Notizen. Schauen Sie sich dann das zweite Video an und ergänzen Sie Ihre Notizen zur **elektrophilen Addition von Brom an Ethen**.
2. Verwenden Sie nun die folgenden Bilder und rekonstruieren Sie die richtige Reihenfolge der elektrophilen Addition von Brom an Ethen. Kleben Sie hierzu die einzelnen Reaktionsschritte in die Filmleiste und erläutern Sie diese entsprechend.
 **Tip:** Es liegen Tippkarten beim Lehrer bereit.
3. Ergänzen Sie alle fehlenden Ladungen in den einzelnen Schritten des Reaktionsmechanismus.



M 4.2 Filmleiste zur elektrophilen Addition von Brom an Ethen

VORANSICHT

Das ist zu tun:

- Fügen Sie die Abbildungen aus M 4.1 in der richtigen Reihenfolge in die Filmleiste ein.
- Finden Sie für jeden Teilschritt des Reaktionsmechanismus eine passende Beschreibung.
- Ergänzen Sie alle fehlenden Ladungen.

M 4.3 Tippkarten zum Reaktionsmechanismus



Schritt 1 (Level 1)

- hohe Elektronendichte der C=C-Bindung
- Polarisierung des Br₂

Schritt 1 (Level 2)

Durch die **hohe Elektronendichte** der C=C-Doppelbindung wird das Brom-Molekül temporär **polariert**. Es richtet sich mit der partiell-positiv geladenen Seite in Richtung der C=C-Doppelbindung aus.

Schritt 2 (Level 1)

- elektrophiler Angriff
- π-Komplex

Schritt 2 (Level 2)

Die Doppelbindung wird **elektrophil** vom positivierten Brom-Atom angegriffen. Es bildet sich ein **π-Komplex**.

Schritt 3 (Level 1)

- C-Br-Bindung
- heterolytische Bindungsspaltung
- Bromonium-Ion (Br⁺)
- Bromid-Ion (Br⁻)

Schritt 3 (Level 2)

Durch eine **Verschiebung der Bindungselektronen** wird eine Bindung zwischen einem Kohlenstoff-Atom und dem positivierten Brom-Atom ausgebildet. Das Brom-Molekül wird **heterolytisch** gespalten. Es liegt nun ein **Bromid-Ion (Br⁻)** und ein **Bromonium-Ion (Br⁺)** als Zwischenstufe vor.

Schritt 4 (Level 1)

- Angriff Bromid-Ion

Schritt 4 (Level 2)

Das negativ geladene Bromid-Ion greift nun das positiv geladene Bromonium-Ion rückseitig an.

Schritt 5 (Level 1)

- weitere C-Br-Bindung
- 1,2-Dibromethan

Schritt 5 (Level 2)

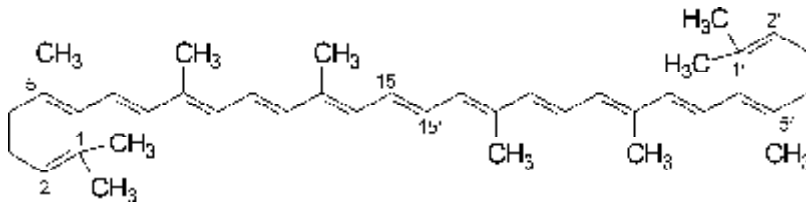
Durch die Bildung einer weiteren Bindung zwischen Kohlenstoff- und Brom-Atomen liegt als Endprodukt das **1,2-Dibromethan** vor.



M 5 Organische Farbstoffe

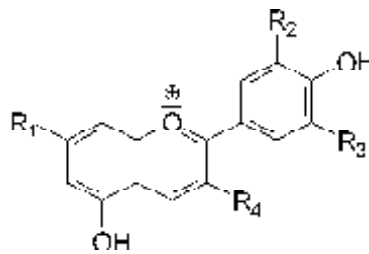
Verschiedene organische Pflanzenfarbstoffe sorgen für Farbigkeit in der Natur. Hier finden Sie eine Auswahl.

➤ Lycopin



Tomaten enthalten den roten Farbstoff Lycopin

➤ Anthocyane (ein Beispiel)



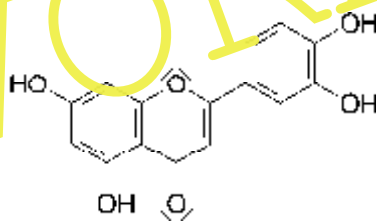
R₁, R₂, R₃: -OH, -OCH₃ oder -H

R₄: Zuckerrest



Anthocyane geben Früchten wie Heidelbeere, Brombeere oder Himbeere ihre charakteristische Färbung

➤ Luteolin



Zweige, Blätter und Blüten des Färber-Ginsters (*Genista tinctoria*) enthalten den gelben Pflanzenfarbstoff Luteolin

alle Fotos: Thinkstock/iStock

Aufgabe: Betrachten Sie die Moleküle der unterschiedlichen organischen Pflanzenfarbstoffe. Was fällt Ihnen auf? Warum erscheinen diese Stoffe farbig?

Erläuterungen und Lösungen

Erläuterung (M 1)

Die Vorstrukturierung von Vorwissen bietet eine gute Einstiegsmöglichkeit in das Thema. Nach Kranz/Schorn findet durch Strukturierungsmethoden eine gute Visualisierung von Wissen und Informationen statt, welche begriffliches und bildliches Denken verbindet (vgl. Kranz/Schorn, 2008, 73). Die zentralen Begriffe der *Mindmap* sind in diesem Fall „Farbstoffe und Farbigkeit“ und werden von den Schülern mittig auf ein DIN-A4-Blatt (Querformat) geschrieben. Von diesem zentralen Begriff gehen baumartige Verzweigungen zu verschiedenen Unterbegriffen aus. Zur näheren Gestaltung einer *Concept Map* ist unter **M 1** ein Internetlink angegeben.

Die Gestaltung der Mindmap/Concept Map ist immer abhängig vom Vorwissen der Schüler. Erfahrungsgemäß ist es sehr sinnvoll, dass die Schüler verschiedene Farben zur Gestaltung und Erweiterung ihrer Mindmap bzw. Concept Map verwenden. Es bietet sich z. B. für die Vorwissensaktivierung die Farbe SCHWARZ an. Die erste Erweiterung (durch **M 1 Aufgabe 2**) wird dann in der Farbe BLAU geschrieben und die zweite Erweiterung (durch **M 2**) in der Farbe ROT. Eine eindeutig festgelegte Mindmap gibt es in diesem Fall nicht, da nach konstruktivistischer Lerntheorie jeder Schüler eigene Schwerpunkte bei der Sichtung des Materials und bei der Implementation von Vorwissen hat.

(eine mögliche) Lösung (M 1)

