

II.C.46

Vielfalt organischer Verbindungen

Einführung in die Grüne Chemie – Von der Zuckerrübe bis zu abbaubaren Werkstoffen

Ein Beitrag von Michael Linkwitz und Ingo Eilks



© RAABE 2021

©Petmal/Stock / Getty Images Plus

Für die Umsetzung von Nachhaltigkeit in der Chemie gibt es verschiedene Ansätze. Einer davon ist die Grüne Chemie (engl. Green Chemistry). Grüne Chemie widmet sich der Erschließung umweltverträglicher, Abfall vermeidender, Material und Energie sparender und sicherer industrieller Prozesse und Produkte. Bisher existieren allerdings erst wenig konkrete Vorschläge zum Thema Grüne Chemie für den Chemieunterricht an Schulen. In dieser Einheit werden Arbeitsmaterialien und Experimente zur Grünen Chemie vorgestellt, die einen ersten Einblick in das Denken der Grünen Chemie geben können.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe:	11–12
Dauer:	10 Unterrichtsstunden (5 Doppelstunden)
Kompetenzen:	1. Zusammenhänge zwischen Vorkommen, Verwendung und Eigenschaften von Stoffen beschreiben. 2. Experimentelles Erkunden nachwachsender Rohstoffe. 3. Produktaussagen analysieren und auf Basis ihres chemischen Sachverhaltes diskutieren.
Thematische Bereiche:	Organische Chemie, Nachhaltigkeit, Struktur-Eigenschaftsbeziehungen, Reaktionsmechanismen, funktionelle Gruppen und Stoffklassen, Katalysatoren, Makromoleküle
Medien:	Texte, Experimente, Arbeitsblätter, Videos

M 1

UHU stic ReNature – Der erste Klebestiftbehälter, der nachwächst?



©alex_kzion / iStock / Getty Images Plus

Während heute noch immer über 90 % der erzeugten Kunststoffe aus dem knappen Rohstoff Erdöl hergestellt werden, setzt UHU schon zukunftsorientiert auf nachhaltige Biokunststoffe. So besteht der Behälter des neuen UHU stic ReNATURE zu 58 % aus Biokunststoff, der aus jährlich nachwachsendem Zuckerrohr hergestellt wird und so einen wichtigen Beitrag zu Klima- und Umweltschutz leistet. (Quelle: <http://renature.uhu.com/de-de/product>)

Ihr sollt euch nun intensiver mit folgendem Werbevideo vom UHU stic ReNATURE befassen und folgende Arbeitsaufträge bearbeiten: <https://raabe.click/ch-Kleber>
[Letzter Abruf 03.12.2020]



Aufgaben

1. **Gebt** in eigenen Worten **wieder**, worum es im Video geht.
2. **Entwickelt** Fragen, die sich aus den Aussagen im Video und aus dem Presstext von UHU ergeben.
3. **Analysiert** das Video zum Beispiel im Hinblick auf die verwendeten Stilmittel (Musik, Hintergründe, Einspielungen von unberührter Natur etc.).
4. **Diskutiert**, welches Interesse Unternehmen daran haben könnten, Produkte wie den UHU stic ReNATURE auf den Markt zu bringen.

Wie entstand die Idee von einer Grünen Chemie?

M 2



© Petmal / iStock / Getty Images Plus

Ein wesentliches Ziel der chemischen Industrie bei der Synthese von Stoffen war in den letzten Jahrzehnten die Optimierung der Produktausbeute. Im Hinblick auf gegenwärtige Umweltprobleme wie z. B. der Klimaerwärmung muss dieser eingeschränkte Ansatz erweitert werden, da unsere natürlichen Ressourcen begrenzt sind. Zudem werden die Lebensgrundlagen zukünftiger Generationen z. B. durch giftige Abfälle, klimawirksame Gase oder durch nicht abbaubare Kunststoffe zerstört. Viele Rohstoffe der chemischen Industrie basieren immer noch auf Erdöl, eine nicht erneuerbare Ressource.

Es stellt sich die Frage, welche Alternativen zur Verfügung stehen oder entwickelt werden müssen. Eine dieser Alternativen ist das Konzept der Nachhaltigkeit. Es beinhaltet die Erhaltung der Langzeit-Produktivität der Umwelt, sodass auch nachfolgende Generationen auf diesem Planeten leben können. Nachhaltigkeit hat ökologische, ökonomische als auch soziale Dimensionen.

Was ist Nachhaltige Chemie?

Für die Umsetzung einer Nachhaltigen Chemie (engl.: Sustainable/Green Chemistry) gibt es verschiedene Ansätze. Ein bekanntes Beispiel sind die 12 Prinzipien für eine „Green Chemistry“ der beiden US-Amerikaner Anastas und Warner aus dem Jahre 1998. Auf europäischer Ebene bringen diese 12 Leitgedanken den Anspruch an eine nachhaltige Produktion und damit auch an die Chemiebranche zum Ausdruck.

Aufgaben

1. **Erkläre** in eigenen Worten, was man unter einer Grünen Chemie versteht.
2. **Versetzt** euch in die Lage eines nachhaltig arbeitenden Chemieunternehmens und **entwickelt** maximal 6 solcher nachhaltigen Synthese-Prinzipien. **Begründet** eure Entscheidung.
3. **Erläutert**, inwiefern Nachhaltigkeit neben einer ökologischen Dimension auch ökonomische und soziale Dimensionen umfasst.
4. **Beurteilt** die Notwendigkeit einer Nachhaltigen Chemie.

M 7 Biotechnologische Gewinnung von Milchsäure – Bakterien bei der Arbeit

Milchsäure kann auf Basis fossiler Rohstoffe (also Erdöl) synthetisiert oder mithilfe von Bakterien, d. h. biotechnologisch, gewonnen werden. Die Weltproduktion beruht heute zu ca. 95 % auf dem biotechnologischen Weg. Der Vorteil liegt im Umsatz mit bis zu 85–95 %, der hohen Produktivität sowie den hohen Konzentrationen. Das Verfahren auf Basis fossiler Rohstoffe, das nur noch ein Unternehmen weltweit anwendet, wird bei weiteren Fortschritten auf dem Gebiet der Biotechnologie voraussichtlich ökonomisch unattraktiv werden.

Die industrielle biotechnologische Gewinnung von Milchsäure begann 1881 in den USA. Zur Herstellung eignen sich u. a. eine Reihe von *Lactobacillus*-Arten, die die Milchsäure unter anaeroben (sauerstofffreien) Bedingungen über ihre eigenen enzymatischen Stoffwechselwege produzieren. Als Rohstoffquelle werden unterschiedliche Kohlenhydrate aus Industriepflanzen genutzt, wie z. B. Stärke, Saccharose, Lactose oder Glukose.

Die Gewinnung von Milchsäure in industriellem Maßstab erfolgt in sogenannten Fermentern (s. Abbildung), in denen die Bakterien in Nährlösungen und Zuckerkonzentrationen von 5–10 % nach 3–6 Tagen 2 g Milchsäure pro Liter Fermenterbrühe und Stunde erzeugen. Um eine Versäuerung und damit das Absterben oder die Hemmung der Mikroorganismen zu vermeiden, werden während der Fermentation basische Salze wie Calciumhydroxid oder Natriumhydroxid zugegeben. Neue Entwicklungen zielen darauf ab, durch Verwendung von gentechnisch veränderten Arten in neutralem Milieu arbeiten zu können. Nach Entfernung der Biomasse und der Feststoffe wird Milchsäure erhalten, die dann gereinigt werden muss.



© Reptile8488/E+/Getty Images

Aufgaben

1. **Beschreibe** die biotechnologische Gewinnung von Milchsäure in eigenen Worten und erläutere die Vorteile, die mit diesem Verfahren verbunden sind.
2. **Recherchiere** weitere biotechnologische Verfahren, die bei der Produktion von Stoffen aus dem Alltag Verwendung finden.
3. **Liste auf**, welche der 12 Prinzipien der Grünen Chemie bei der biotechnologischen Gewinnung von Milchsäure zur Anwendung kommen.



Einfache Nachweise von Zuckern (Glukose und Laktose) und Milchsäure

M 8

Führen Sie folgende Versuche **durch** und **notieren** Sie Ihre Versuchsbeobachtung und die Versuchsauswertung.

Schülerversuch 1A: FEHLING-Test: Nachweis von Trauben- und Milchzucker

Vorbereitung: 10 min Durchführung: 10 min

Chemikalien	Geräte
<input type="checkbox"/> Zuckerhaltige Lebensmittel (Testlösungen) <input type="checkbox"/> FEHLING'sche Lösung I und II	<input type="checkbox"/> Schutzbrille/Kittel/Handschuhe <input type="checkbox"/> Reagenzgläser <input type="checkbox"/> Reagenzglasständer <input type="checkbox"/> Reagenzglasklammer/Muffen <input type="checkbox"/> Messzylinder <input type="checkbox"/> Gasbrenner <input type="checkbox"/> Streichhölzer / Gasanzünder <input type="checkbox"/> Pipetten
Entsorgung: Die Lösung kann im Abfall für Schwermetalle entsorgt werden.	

Versuchsdurchführung

Je 2 ml der bereitstehenden Lösungen FEHLING I und FEHLING II werden im Reagenzglas gründlich gemischt. Dabei entsteht eine tiefblaue Lösung. Zu dieser Mischung gibt man je etwa 2 ml der

Testlösungen und erhitzt vorsichtig über der Bunsenflamme bis zum Sieden

(**Vorsicht: Siedeverzug!**). Bei positivem Verlauf der Probe scheidet sich ein rotbrauner Niederschlag ab.

Schülerversuch 1B: Nachweis der Milchsäure mit Resorcin

Vorbereitung: 10 min Durchführung: 10 min

Chemikalien	Geräte
<input type="checkbox"/> Zuckerhaltige Lebensmittel (Testlösungen) <input type="checkbox"/> Resorcin <input type="checkbox"/> Eisen(III)-chlorid-Lösung	<input type="checkbox"/> Schutzbrille/Kittel/Handschuhe <input type="checkbox"/> Reagenzgläser <input type="checkbox"/> Reagenzglasständer <input type="checkbox"/> Reagenzglasklammer/Muffen <input type="checkbox"/> Spatel <input type="checkbox"/> Pipetten
Entsorgung: Die Lösung kann im Abfall für Schwermetalle entsorgt werden.	

Versuchsdurchführung

Ein Tropfen Eisen(III)-chlorid-Lösung wird mit einer Spatelspitze Resorcin versetzt. Der Ansatz färbt sich blauschwarz. Nach Zusatz von einem Tropfen Probelösung tritt ein Farbumschlag nach Gelbgrün auf.

Enzymatische Synthese eines Frucht- und Emollientesters

M 9

Führen Sie folgende Versuche **durch** und **notieren** Sie Ihre Beobachtung und Auswertung.

Schülerversuch 2: Synthese eines Fruchttesters

Vorbereitung: 20 min Durchführung: 30 min

Chemikalien	Geräte
<input type="checkbox"/> Ethansäure	<input type="checkbox"/> Schutzbrille/Kittel/Handschuhe
<input type="checkbox"/> 1-Octanol	<input type="checkbox"/> Muffen
<input type="checkbox"/> Lipase (Novozym 435)	<input type="checkbox"/> Klammern
	<input type="checkbox"/> Thermometer
	<input type="checkbox"/> Magnetrührer mit Heizplatte
	<input type="checkbox"/> Magnetrührkerne
	<input type="checkbox"/> Bechergläse
	<input type="checkbox"/> Glasschale
	<input type="checkbox"/> Pipette
	<input type="checkbox"/> Kittel

Entsorgung: Die Lösung kann im Abfall für organische Stoffe ohne Halogene entsorgt werden.



Versuchsdurchführung

Achtung: Den Versuch unter dem Abzug mit Handschuhen, Schutzbrille und Kittel durchführen. In das Becherglas werden 6 g (0,1 mol) Ethansäure und 13,02 g 1-Octanol (0,1 mol) eingewogen. Danach wird das Becherglas in der Glasschale mithilfe eines Stativs mit Muffe und Klammer befestigt. Die Glasschale wird mit Wasser fast vollständig befüllt und auf ca. 60 °C–65 °C aufgeheizt. Die Temperatur des Wasserbads sollte während der gesamten Versuchsdauer bei ca. 65 °C liegen. Man rührt den Reaktionsansatz etwa fünf Minuten, bis Alkohol und Säure ebenfalls auf ca. 65 °C erhitzt sind. Die Veresterung wird durch Zugabe von 0,6 g Novozym 435 gestartet. Die Reaktion ist beendet, wenn man ein leichtes Bananenaroma riechen kann.



Schülerversuch 3: Synthese eines Emollientesters

Vorbereitung: 20 min Durchführung: 30 min

Chemikalien	Geräte
<input type="checkbox"/> Myristylalkohol	<input type="checkbox"/> Schutzbrille/Kittel/Handschuhe
<input type="checkbox"/> Myristinsäure	<input type="checkbox"/> Muffen
<input type="checkbox"/> Lipase (Novozym 435)	<input type="checkbox"/> Klammern
	<input type="checkbox"/> Thermometer
	<input type="checkbox"/> Magnetrührer mit Heizplatte
	<input type="checkbox"/> Magnetrührkerne
	<input type="checkbox"/> Standzylinder
	<input type="checkbox"/> Glasschale
	<input type="checkbox"/> Waage
	<input type="checkbox"/> Stativ
	<input type="checkbox"/> digitales pH-Meter

Entsorgung: Die Lösung kann im Abfall für organische Stoffe ohne Halogene entsorgt werden.



Versuchsdurchführung

In den Standzylinder werden 11,4 g (0,05 mol) Myristinsäure und 10,7 g Myristylalkohol (0,05 mol) eingewogen und der Magnetrührfisch hinzugegeben. Danach wird der Standzylinder in die Glasschale auf den Magnetrührer mithilfe eines Stativs mit Muffe und Klammer so befestigt, dass sich noch ein Magnetrührkern unter dem Standzylinder drehen kann. Die Glasschale wird mit Wasser fast vollständig befüllt und auf 70 °C aufgeheizt. Die Temperatur des Wasserbads sollte während der gesamten Versuchsdauer bei 70 °C liegen. Man lässt den Reaktionsansatz etwa fünf Minuten rühren, bis Alkohol und Säure vollständig geschmolzen und ebenfalls auf ca. 70 °C erhitzt sind. Die Veresterung wird durch Zugabe von 0,6 g Novozym 435 gestartet. Alle 3 bis 4 Minuten wird über einen Zeitraum von einer halben Stunde der pH-Wert mit einem digitalen pH-Meter gemessen.